

**TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NO ESTUDO DE
CHEIAS/INUNDAÇÕES E MOVIMENTOS DE MASSAS. O CASO DA
ILHA DE SÃO VICENTE, CABO VERDE**

JOÃO EVANGELISTA DA LUZ

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GESTÃO DO TERRITÓRIO,
ÁREA DE ESPECIALIZAÇÃO EM DETECÇÃO REMOTA E
SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

Abril, 2016

**TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NO ESTUDO DE
CHEIAS/INUNDAÇÕES E MOVIMENTOS DE MASSAS. O CASO DA
ILHA DE SÃO VICENTE, CABO VERDE**

JOÃO EVANGELISTA DA LUZ

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GESTÃO DO TERRITÓRIO,
ÁREA DE ESPECIALIZAÇÃO EM DETEÇÃO REMOTA E
SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

Abril, 2016

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão do Território, Área de Especialização em Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Jorge Ferreira e da Professora Doutora Maria José Roxo.

Dedicatória

À alma dos meus avós, António Zacarias da Luz, Maria Carlota da Luz e José do Rosário Silva

AGRADECIMENTOS

Aos Professores Jorge Ferreira e Maria José Roxo pela disponibilidade, compreensão, ensinamento e por todas as sugestões relevantes durante a orientação científica desta investigação, o meu reconhecimento.

Agradecer, também, ao professor José António Tenedório pelos ensinamentos e disponibilidade e pelo apoio na extração de informação geográfica a partir de imagens de satélite.

À Marlene Brito pela leitura e recomendações sugeridas, pelo carinho, amizade e todo o apoio demonstrado ao longo desta caminhada.

Agradecer ao Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica pelos dados disponibilizados.

Ao meu colega e amigo, Morna Nandaia, pelas sugestões, críticas construtivas por todo o apoio e incentivo demonstrado ao longo desta caminhada.

Agradecer ao Carlos Varela pelos dados solicitados e à Sílvia Monteiro pelas fotografias e pelas sugestões.

Aos meus amigos e colegas Gonçalo Moutinho, Jilson Freire, Susana Nunes Endy Soares, Dilma Esteves e João Paulo Oliveira pelo encorajamento e o apoio.

Aos meus familiares pelo apoio e disponibilidade demonstrada em todos os momentos desta investigação.

Agradeço, por último, a todas as pessoas e instituições que de uma forma ou outra deram contribuições valiosas para a execução desta dissertação¹.

A todos o meu muito obrigado.

¹ A presente dissertação encontra-se redigida de acordo com o novo acordo ortográfico português

AS TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NO ESTUDO DAS CHEIAS/INUNDAÇÕES E MOVIMENTOS DE MASSAS. O CASO DA ILHA DE SÃO VICENTE, CABO VERDE

João Evangelista da Luz

RESUMO

Palavras-Chave: cheias/inundações, movimentos de massas, Sistemas de Informação Geográfica, deteção remota, São Vicente e Cabo Verde.

As cheias/inundações e os movimentos de massas são fenómenos naturais que possuem um forte impacto nas populações constituindo, por isso, motivos de preocupações. Estes fenómenos, normalmente, desencadeados por precipitações extremas, podem ter consequências nefastas quando afetam aglomerados populacionais.

Neste sentido, a presente investigação tem como objetivo a aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) ao estudo das cheias/inundações e movimentos de massas, tendo como caso de estudo a ilha de São Vicente do arquipélago de Cabo Verde. Assim, através da utilização dos SIG procurou-se cartografar as áreas ou bairros possíveis de serem atingidos, pelas cheias/inundações e movimentos de massas, bem como a população afetada.

Recorreu-se à análise de notícias de jornais cabo-verdianos, assim como à exploração de entrevistas sobre a presente temática. Numa segunda fase, aplicou-se a técnica de análise multicritério em combinação com os SIG. Para auxiliar na atribuição dos pesos aos critérios utilizados na análise socorreu-se ao método *Analytic Hierarchy Process* (AHP). A presente investigação revelou que os bairros de Ribeirinha, Vila Nova/Lombo Tanque, Ribeira Bote, Bela Vista/Pedreira e o centro da cidade destacam-se com risco elevado, uma vez que a se situam na convergência das linhas de água das principais bacias que drenam a metrópole e devido ao seu elevado número de residentes. Realça-se a importância da extração de informação geográfica a partir do processamento digital de imagens de satélite para estudo de ocupação do solo e a sua integração em estudo de cheias/inundações e movimentos de massas. Através da abordagem píxel a píxel e orientada ao objeto, concluiu-se que a classificação ao nível do píxel, utilizando o classificador da Máxima Verosimilhança, produziu melhores resultados do que o classificador Bhattacharya. A imagem classificada no projeto deve integrar os Instrumentos de Gestão Territorial (IGT) da ilha, de modo a complementá-los e a enriquecê-los. Este complemento aos IGT é importante para prevenir eventuais situações de risco e perdas humanas ou materiais.

THE GEOGRAPHIC INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE STUDY OF FLOODS / FLOODING AND MASS MOVEMENTS. THE CASE OF SAINT VINCENT ISLAND, CAPE VERDE

João Evangelista da Luz

ABSTRACT

Keywords: mass movements, floods / flooding, Geographic Information System, Remote Sensing, Saint Vincent and Cape Verde.

Flooding / floods and mass movements are natural phenomena which have a strong impact on populations and arise strong concern. These phenomena are usually triggered by extreme rainfall and may have adverse consequences when they affect settlements.

In this sense, this research aims at the application of Geographic Information Systems (GIS) to study flood / flooding and mass movements, and using as a case study the island of São Vicente in the Cape Verde archipelago. Thus, through the use of GIS sought to map the areas or neighborhoods possible to be achieved, flood / flooding and mass movements, as well as the affected population.

It appealed to the analysis of news Cape Verdean newspaper, as well as the exploitation of interviews on the subject present. In a second stage, was applied to multiple criteria analysis technique in combination with GIS. To assist in the allocation of weights to the criteria used in the analysis was used the method helped Analytic Hierarchy Process (AHP). This research revealed that the neighborhoods of Ribeirinha, Vila / Lobo Tanque, Ribeira Bote, Bela Vista / Pedreira and the City Center stand out with high risk, since they are in the convergence of streams of the main basin that drain the city and due to its high number of residents.

It is important to emphasize the relevance of geographic information extraction from digital satellite imagery for land use study process and their integration into study of flood / flooding and mass movements. Through pixel to pixel-oriented approach to the object, it was found that the classification level of the pixel using the Maximum Likelihood classifier, produced better results than the classifier Bhattacharya. The classified image in the project should integrate the Territorial Management Instruments (IGT) of the island, in order to supplement them and enrich them. This addition to the IGT is important to prevent any risk situations and human or material losses.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
ABREVIATURAS	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. Objetivos.....	2
3. Estrutura da dissertação	4
4. Metodologia geral	5
4.1. Estrutura e características dos dados utilizados.....	6
CAPÍTULO I – CONCEITOS E TERMINOLOGIAS.....	7
I. 1. As cheias/inundações	7
I. 1.1 Fatores desencadeantes, e condicionantes das cheias/inundações.....	8
I. 2. Movimentos de massas	9
I. 2.1 Tipologia dos movimentos de massas	10
I. 3. Cheias/inundações e movimentos de massas enquanto catástrofes naturais	12
I. 4. Perigosidade, suscetibilidade, vulnerabilidade e risco	14
I. 5. A relevância do tema no Quadro do Ordenamento do Território.....	16
CAPÍTULO II: ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO DA ILHA DE SÃO VICENTE NO ARQUIPÉLAGO DE CABO VERDE.....	19
II. 1. Localização	20
II. 2. Clima	21
II. 2.1 As precipitações anuais e mensais na cidade do Mindelo.....	24
II. 2.2 Temperatura do ar	27
II. 2.3. Regime termopluviométrico.....	28
II. 3. Relevo.....	29

II. 4. Litologia	37
II. 5. Hidrografia	40
II. 6. Ocupação do solo	44
II. 7. Demografia	46
7.1 Evolução da população residente em São Vicente (1940-2010)	46
II. 7.2 Estrutura da população	49
 CAPÍTULO III – MANIFESTAÇÕES DE CHEIAS/INUNDAÇÕES E MOVIMENTOS DE MASSAS NA ILHA DE SÃO VICENTE	53
III. 1. As manifestações de risco cheias/inundações.....	56
III. 2. As manifestações de risco de movimentos de massas.....	61
III. 3. A gestão de risco de cheias/inundações e de movimentos de massas na ilha de São Vicente.	63
III. 3.1. Projetos desenvolvido para minimizar os riscos de cheias/inundações e movimentos de massas.....	64
 CAPÍTULO IV - SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E DETECÇÃO REOMOTA APLICADOS AO ESTUDO DE CHEIAS/INUNDAÇÕES E MOVIMENTOS DE MASSAS.....	67
IV. 1. Importância dos sistemas de informação geográfica no apoio a decisão	67
IV. 2. SIG na caracterização das componentes biofísicas das bacias hidrográficas. 70	
IV. 2.1 A Geometria	70
IV. 2.2 A Rede de Drenagem.....	72
IV. 2.3 O Relevo	75
IV. 2.4 Tempo de concentração e tempo de resposta	77
IV. 2.5 Litologia.....	78
IV. 2.6 A ação humana	83
IV. 3. Análise da suscetibilidade de cheias/inundações por bacias da ilha de São Vicente.	83

IV. 3.1 Análise da ocorrência de cheias/inundações por bairros da cidade do Mindelo	85
IV. 3.2 Análise da vulnerabilidade social	87
IV. 3.3 Análise do risco	91
IV. 4. Análise multicritério em Sistemas de Informação Geográfica.....	93
IV. 4.1 Variáveis utilizadas na análise da suscetibilidade a movimentos de massas .	97
4.2 Processamento dos dados para determinação de áreas sensíveis a movimentos de massas.	100
IV. 4.3 Representação espacial das variáveis utilizadas na avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massas.	101
IV. 4.4 Análise da suscetibilidade a movimentos de massas	105
IV. 4.5 O risco de movimentos de massas da ilha de São Vicente.	107
 CAPÍTULO V – EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA A PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE E A SUA INTEGRAÇÃO EM ESTUDO DE CHEIAS/INUNDAÇÕES E MOVIMENTOS DE MASSAS.....	109
V. 1. Detecção Remota	109
V. 1.1. Abordagem orientada ao objeto e abordagem píxel a píxel.....	110
V. 2. Extração de Informação geográfica a partir da imagem <i>LANDSAT</i> 8.....	112
V. 3. Caracterização da área de estudo e dos Dados utilizados.....	113
V. 4. Procedimento Geral.....	114
V. 4.1 Segmentação e classificação de Dados de satélite	117
V. 4.2 Recolha de áreas de treino	118
V. 4.3 Classificação Semiautomática.....	119
V. 4.4 Mapeamento.....	119
V. 5. Resultados Finais	121
V. 5.1 Análise estatística dos resultados das classificações	122
 V. 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
BIBLIOGRAFIA	133

LEGISLAÇÃO	147
<i>SITES</i> CONSULTADOS.....	148
LISTA DE FIGURAS.....	149
LISTA DOS QUADROS	153
ANEXOS	155

ABREVIATURAS

AHP - *Analytic Hierarchy Process*

CE - Comunidade Europeia

CMSV - Câmara Municipal de São Vicente

CV - Cabo Verde

DGOT - Direção Geral do Ordenamento do Território

DL - Decreto-Legislativo

DNOT - Diretiva Nacional de Ordenamento do Território

DR- Detecção Remota

EROT - Esquema Regional de Ordenamento do Território

EM-DAT - *International Disaster Database*

ESRI - *Environmental Systems Research Institute*

IG- Informação Geográfica

IGT- Instrumentos de Gestão Territorial

INE - Instituto Nacional de Estatística

INMG - Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica

INMG - Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica

LBOTPU - Lei de Bases do Ordenamento do Território e Planeamento Urbanístico

MDT - Modelo Digital de Terreno

PC - Proteção Civil

PD - Plano Detalhado

PDM - Plano Diretor Municipal

PDU - Plano Desenvolvimento Urbano

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

SIT - Sistema de Informação Territorial

SNPC- Serviço Nacional de Proteção Civil

TIG - Tecnologias de Informação Geográfica

USGS - *United State Geological Survey*

WP/WLI - *Working Party on World Landslide Inventory*

1. INTRODUÇÃO

Em Cabo Verde ocorrem precipitações intensas que têm provocado situações de perigo para as populações e atividades económicas que necessitam de uma resposta rápida e eficaz dos meios de socorro e das forças de segurança. Uma correta política de ordenamento do território pode minimizar a vulnerabilidade e diminuir o perigo associado a eventos extremos².

Os eventos naturais extremos não constituem em si catástrofes, uma vez que fazem parte da própria dinâmica do planeta Terra, é a ação antrópica de áreas propensas a perigos que transforma a Natureza numa ameaça. Sendo assim, a ocupação e uso do solo não deve ser feita de forma arbitrária, deve possibilitar a interação das atividades humanas com a sustentabilidade e regeneração dos recursos naturais, apenas possível com uma atenção especial em conhecer e estudar os eventos considerados perigosos.

Assiste-se, atualmente, a situações de catástrofes naturais um pouco por todo o mundo, independentemente do nível de desenvolvimento dos países. Estes fenómenos têm maior impacto nos países em vias de desenvolvimento com fracos recursos económicos para investir nestas áreas e menos preparados para enfrentar estas situações. As ilhas de Cabo Verde, nomeadamente Santo Antão, São Vicente, São Nicolau, Boa Vista e Santiago têm sido fustigadas por chuvas intensas, que originaram cheias/inundações e movimentos de massas.

As oscilações anuais na distribuição da precipitação em Cabo Verde não facilitam, prever com antecedência os efeitos no território, o que contribui, desta forma, para o aumento da sua capacidade destrutiva. A precipitação é o principal fator responsável pela ocorrência de cheias/inundações e movimentos de massas, pelo que perante um episódio extremo de chuva intensa é importante conhecer as áreas que serão mais facilmente afetadas, ou seja, os locais mais sensíveis a ocorrência destes fenómenos.

Para elaboração dos modelos de suscetibilidade a cheias/inundações e movimentos de massas recorreu-se ao Método AHP (Análise de Processos Hierárquica) e análise multicritério de um conjunto de variáveis condicionantes para os respetivos modelos.

² Os eventos de chuva intensa, responsável por cheias/inundações e movimentos de massas, normalmente causam diversos transtornos à sociedade e acarretam prejuízos socioeconómicos. A particularidade de alguns eventos está no volume acumulado de chuva, que algumas vezes é considerado extremo.

A validação dos modelos é fundamentada em registos fotográficos, e notícias de jornais cabo-verdianos e de outros órgãos de comunicação. Após a determinação das áreas que podem ser atingidas por cheias/inundações e movimentos de massas, pretende-se localizar o risco, para as populações, o edificado e a rede viária.

Realça-se a importância da extração de informação geográfica a partir do processamento digital de imagens de satélite para estudo de ocupação do solo e a sua integração em estudo de cheias/inundações e movimentos de massas. Através da abordagem píxel a píxel e orientada ao objeto utilizando o classificador da Máxima e o Verosimilhança e o Bhattacharya.

2. Objetivos

Este estudo tem como objetivo geral determinar as áreas sensíveis a ocorrência de cheias/inundações e movimentos de massas e analisar a vulnerabilidade social da ilha no sentido de definir novos modelos de ordenamento do território. Sendo assim os objetivos específicos são:

- Identificar variáveis que integram os modelos de análise da suscetibilidade a cheias/inundações e movimentos de massas;
- Determinar as áreas de maior suscetibilidade a inundações e movimentos de massas;
- Analisar a vulnerabilidade social das populações;
- Contribuir para uma melhoria da política de ordenamento do território e planeamento de emergência;
- Realçar a importância da informação geográfica no apoio ao ordenamento do território.

Para Monteiro *et al*, (2011) o arquipélago de Cabo Verde está sujeito a uma grande diversidade de riscos naturais³, em grande parte resultante das condições de perigosidade natural. Esta situação é ainda agravada pela vulnerabilidade social das populações, com modos de vida essencialmente rurais, num território descontínuo e com um défice grande em infraestruturas. Assim, parece não só interessante do ponto de vista científico, bem como do ponto de vista social, agarrar o desafio e tentar contribuir,

³ Os riscos naturais que Cabo Verde está sujeito na opinião de Monteiro *et al*. (2011) são risco de, erupções vulcânicas, sismo, seca, cheias/inundações, erosão, movimentos de massas entre outros.

para uma melhor compreensão da dinâmica das cheias/inundações e movimentos de massas que o arquipélago de Cabo Verde está sujeito.

A posição de Cabo Verde no contexto climático do Sahel confere-lhe uma grande variedade de perigos e riscos intrínsecos, nomeadamente, a seca, a desertificação e a erosão acelerada, associado à irregularidade das precipitações (Amaral, 2007). Cabo Verde é um país que, nos últimos anos, tem conhecido um desenvolvimento acelerado. Deste modo, torna-se necessário contar com os constrangimentos decorrentes dos riscos naturais nas políticas de ordenamento do território, uma vez que eles produzem um forte impacto no território.

A justificação deste tema assenta na necessidade de compreender os problemas resultantes do desordenamento da cidade do Mindelo e as consequências das cheias/inundações e dos movimentos de massas para as populações afetadas, bem como o papel que podem desempenhar na sua minimização face a uma situação de catástrofe.

A articulação, muitas vezes, desajustada entre atividades antrópicas no território e a manifestação dos fenómenos naturais perigosos, que nele se ocorrem têm-se manifestado, no aumento das vulnerabilidades, por via da expansão dos aglomerados populacionais e das atividades económicas, para áreas que sempre estiveram expostas a perigos naturais. Por outro lado a situação que a ilha de São Vicente vivenciou com as chuvas de Setembro de 2009⁴, que desencadearam cheias/inundações e movimentos de massa, serviu de motivação para a necessidade de uma melhor compreensão destes processos neste território. Neste contexto, entende-se ser necessário ter um conhecimento do território municipal e dos problemas que o afetam. Assim sendo, torna-se essencial perceber a problemática e os desafios que as cheias/inundações e os movimentos de massas colocam à ilha na organização e gestão do território.

⁴ Assim noticiava o jornal *A Semana online* de 19 de Setembro de 2009. “São Vicente está a viver uma situação difícil com a chuva intensa que cai desde as 14 horas de hoje, 19. A cidade está inundada, carros submersos e casas a transbordar de água. A chuva não pára.” Cf. <http://asemana.sapo.cv/spip.php?article45738> [acedido em 19/09/2015].

3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos, organizados numa sequência lógica, de acordo com os objetivos pretendidos. No **primeiro capítulo** efetua-se uma breve abordagem dos conceitos e terminologias respeitante às cheias/inundações e movimentos de massas, de acordo com a perspetiva de alguns autores, descrevendo-se os principais fatores condicionantes e desencadeantes destes fenómenos. Ainda neste capítulo refere-se a relevância do tema no Quadro do ordenamento do território.

No **segundo capítulo** caracteriza-se a área estudo com realce para clima, relevo, litologia e hidrografia. A componente socioeconómica da população foi destacada, bem como a forma de ocupação do solo como fatores que contribuem para situações de cheias/inundações e movimentos de massas.

No que diz respeito ao **terceiro capítulo** analisam-se as manifestações das cheias/inundações e dos movimentos de massas ocorridos em setembro de 2009 e de 2013 com recursos a registos fotográficos, como forma de validar os modelos e também de abordar a vulnerabilidade e o risco.

Quanto ao **quarto capítulo** este incide sobre a metodologia, tendo em vista a determinação das áreas sensíveis a cheias/inundações e movimentos de massas construiu-se um modelo em ambiente Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que se ajustasse ao conhecimento empírico. Foi utilizado o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP)⁵ de Saaty e o cruzamento das variáveis foi feito com base na análise multicritério.

Por último no **quinto capítulo** aborda-se a extração de informação geográfica (IG) a partir do processamento digital de imagens de satélite *Landsat 8*⁶ para estudo de ocupação do solo. Demonstra-se, neste capítulo a importância da informação geográfica no apoio ao estudo de ocupação do solo e a sua integração em estudos de cheias/inundações e movimentos de massas, usando um *software open source*⁷.

⁵ *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um método desenvolvido por Thomas Saaty nos finais dos anos setenta do século XX na Escola Wharton da Universidade de Pensilvânia. É um método que utiliza uma medida global para hierarquizar as alternativas de decisão. O AHP ajuda as pessoas a justificarem as suas escolhas.

⁶ *Landsat 8* é um satélite de observação da terra. É o oitavo da série de satélites do Programa *Landsat* e o sétimo a alcançar com sucesso a órbita terrestre. Este satélite foi colocado em órbita a 11 Fevereiro de 2013; órbita a 705 km de altura e tem um período de revisita de 16 dias, período durante o qual efetua 232 órbitas em redor da Terra.

4. Metodologia geral

A metodologia seguida neste trabalho compreende, essencialmente, cinco fases, sendo a primeira o levantamento bibliográfico (estado da arte), seguida de trabalho aquisição de dados, seu tratamento e interpretação dos resultados. O levantamento bibliográfico incidiu sobre o tema dos riscos e vulnerabilidade e ainda sobre a área de estudo a ilha de São Vicente.

Recorre-se, a dados estatísticos, sendo na sua maioria, dados do Instituto Nacional de Estatística (INE) de Cabo Verde, para a caracterização sociodemográfica e económica da ilha. Para além destes dados, foram utilizados ainda dados cartográficos, nomeadamente a cartografia digital da ilha, provenientes da Direção Geral do Ordenamento do Território (DGOT) de Cabo Verde para a elaboração de mapas temáticos.

Quanto aos dados meteorológicos esses foram adquiridos junto do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG) de Cabo verde. A utilização destes dados é de extrema importância, uma vez que é conhecido o papel que a precipitação tem no desencadeamento de fenómenos perigosos como as cheias/inundações e os movimentos de massas.

A informação recolhida foi estruturada de forma a poder ser integrada num Sistema de Informação Geográfica para a modelação e análise espacial e consequente produção de mapas temáticos. Utilizaram-se as ferramentas do Google Earth, principalmente, no capítulo 5 onde se falou de extração de informação geográfica a partir do processamento digital de imagem de satélite para esclarecer algumas dúvidas em relação às classes de ocupação do solo.

Para a elaboração das cartas de suscetibilidades utilizou-se o método *Analytic Hierarchy Process* AHP (Análise de Processos Hierárquica) e as ferramentas de SIG. Após o tratamento dos dados seguiu-se para a análise e interpretação dos mesmos, com vista à possível integração deste estudo em políticas de Ordenamento do Território, a nível municipal.

⁷ *Software open source* é o software de computador _ com o seu código fonte disponibilizado e licenciado com uma licença de código aberto no qual o direito autoral fornece o direito de estudar, modificar e distribuir o software de graça para qualquer um e para qualquer finalidade.

4.1. Estrutura e características dos dados utilizados

Para a realização de um trabalho de análise de suscetibilidade e cheia/inundações e movimentos de massas é importante que a base de informação a recolher seja sólida e coerente. Os métodos de aquisição de informação podem ser de dois tipos: diretos⁸ ou indiretos⁹. No Quadro 1 apresenta-se a informação e respetivas fontes de recolha utilizadas. É de referir ainda que a informação recolhida reporta ao método de aquisição indireto.

Quadro 1: Estrutura e características dos dados utilizados

Escala	Designação	Formato	Estrutura	Produtor
1/50000	Carta Geológica de Cabo Verde	Vetorial	Polígonos	Geomaps
	Carta de Ocupação do solo	Vetorial	Polígonos	Elaboração própria
	Base cartográfica de SV	Vetorial	Polígonos	DGOT
	Limites de Zonas e Lugares	Vetorial	Polígonos	DGOT
1/10000	Altimetria	Vetorial	Linhas	DGOT
	Ortofotomapas	Matricial	(célula 0,4×0,4m)	DGOT
	Imagem <i>Landsat</i> 8	Matricial	(célula 1,1 m)	USGS
	Rede Viária	Vetorial	Linhas	DGOT
	Habitação	Vetorial	Polígonos	DGOT
	Precipitação	Word	Alfanuméricos	INE

Através do Quadro 1 verifica-se que as fontes de informação, a estrutura e o formato dos dados são distintos. Desta forma, a integração de toda a informação

⁸ Permitem aquisição diretamente sobre a superfície topográfica real através de: Radar, Laser, GPS e Topografia. A principal vantagem que estes métodos apresentam é a sua precisão altimétrica, pois esta é muito elevada. No entanto, estes métodos têm a desvantagem de ser morosos e dispendiosos, o que limita a sua aplicação

⁹ Permitem aquisição através de documentos analógicos ou digitais elaborados previamente: (Estereorestituição e vectorização).

adquirida num sistema de informação geográfica carece de um conjunto de tarefas¹⁰ a realizar, tarefas estas que irão possibilitar que toda a informação se encontre uniformizada e pronta a ser integrada num SIG.

O referido projeto em SIG, foi elaborado com o sistema de referência Cabo Verde TRF, projeção Cónica Secante Lambert, Datum D ITRF 1996. De tal modo, que toda a informação com sistema de referência diferente foi convertida. Assim, a informação de base que não tenha um sistema de referência associado foi necessariamente definida. Numa segunda fase, aplicou-se a técnica de análise multicritério em combinação com os SIG para definir as áreas mais propensas a cheias/inundações e movimentos de massas.

CAPÍTULO I – CONCEITOS E TERMINOLOGIAS

I. 1. As cheias/inundações

De acordo com Ramos (2013), muitas vezes, os conceitos de cheias e inundações são usados como sinónimos sendo, por isso, necessário a sua diferenciação. A mesma autora, citando Chow (1956), define cheia com um fenómeno hidrológico extremo, de frequência variável, natural ou induzido pela ação humana, que consiste no transbordo de um curso de água relativamente ao seu leito ordinário, originando a inundação dos terrenos ribeirinhos (leito de cheia). Enquanto que as inundações são fenómenos hidrológicos extremos, de frequência variável, naturais ou induzidos pela ação humana, que consistem na submersão de uma área usualmente emersa. Ainda a mesma autora (2005) enfatiza que todas as cheias provocam inundações, mas nem todas as inundações são devidas às cheias. Seguindo a mesma lógica, Zêzere *et al* (2007) definem cheias como fenómenos naturais extremos e temporários, provocados por precipitações excessivas que fazem aumentar o caudal dos cursos de água, originando o extravasamento do leito menor e a inundação das margens e áreas circunvizinhas, que se encontram frequentemente ocupadas por atividades humanas.

¹⁰ O conjunto de tarefas a realizar no presente trabalho serão os seguintes: a) Converter formato do ficheiro - b) Georreferenciação e transformação de sistema de coordenada; c) Criação e preenchimento da base de dados alfanumérica; iv) Vectorização - v) Conversão para estrutura matricial;

A Diretiva Europeia n.º 2007/60/CE, de 23 de outubro (Avaliação e gestão de riscos de inundações) define como inundação “...a cobertura temporária por água de uma terra normalmente não coberta por água. Inclui as cheias ocasionadas pelos rios, pelas torrentes de montanha e pelos cursos de água...”.

As cheias/inundações, são igualmente, fenómenos naturais que o país enfrenta e que se manifestam quase todos os anos. A precipitação está concentrada nos meses de agosto e setembro, meses de inundações frequentes durante a qual cai, em média, 60% a 80% da precipitação anual.

I. 1.1 Fatores desencadeantes, e condicionantes das cheias/inundações

Ramos (2005), dividiu os fatores que dão origem às cheias/inundações em desencadeantes e agravantes, aos quais a mesma autora em (2009) acrescentaram-lhes os fatores condicionantes. As cheias/inundações podem ter origens diversas dos quais se ressaltam: chuvas prolongadas que desencadeiam cheias dos grandes rios; subida da temperatura com fusão de grandes quantidades de neve (cheias de fusão); chuvas intensas com cheias de pequenos e médios cursos de água; chuvas intensas juntamente com sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais da cidade; subida da toalha freática e galgamentos oceânicos.

A precipitação é a principal causa das cheias/inundações. As precipitações podem ser contínuas e prolongadas, podendo até não atingir grande intensidade, causando cheias lentas com inundação de áreas deprimidas. Por outro lado as precipitações podem ser concentradas no tempo e no espaço, mas de grande intensidade originando às cheias rápidas e às inundações mas com elevada perigosidade para os aglomerados populacionais (Ramos, 2013).

As componentes biofísicas das bacias hidrográficas como geometria, rede de drenagem, relevo, litologia e solo constituem fatores que condicionam as cheias e inundações. Como fatores agravantes destaca-se a construção nos leitos de cheia e nas próprias linhas de água, a impermeabilização dos solos (asfalto e betão), à obstrução da normal circulação das águas, através de pontes, troncos de árvores, resíduos e outras construções.

I. 2. Movimentos de massas

Segundo Garcia (2002) os movimentos de massas¹¹ têm sido objeto de estudo por diversos autores nacionais e internacionais. Os conceitos e classificações utilizadas para descrever os movimentos de massas são distintos consoante a região ou grupo de cientistas que os estudam e as teorias daí decorrentes têm-se sucedido em sequência numa cada vez maior divulgação de informação entre investigadores.

Varnes (1978, 1984) e Hutchinson (1988) procuraram construir uma base de termos e conceitos semelhantes e, rigorosos, que fossem internacionalmente aceites para a classificação dos tipos e processos dos movimentos de massa. No entanto, apesar das atualizações efetuadas e de uma evolução muito positiva neste âmbito, ainda não é possível estabelecer uma classificação consensual, que tenha como base o mesmo tipo de fatores de distinção entre movimentos e que se adapte aos diversos contextos específicos de cada região.

Ainda no sentido de uniformização dos conceitos destacam-se os trabalhos propostos por Dikau (1996) e a proposta de homogeneização da terminologia do grupo de trabalho da UNESCO designado por *Working Party on World Landslide Inventory* (WP/WLI)¹² em 1993. Outros autores como Ferreira, (2005: 198) utilizam o conceito de movimento em vertentes e defende que os movimentos em vertentes são designados no domínio da Geomorfologia como “...a *deslocação de materiais sólidos ao longo das vertentes naturais, induzida pela ação da gravidade, isto é, sem auxílio de um agente de transporte, seja ele as águas correntes, os glaciares ou o vento*”.

Já Julião *et al*, (2009), definem movimentos massas como movimentos de descida, numa vertente, de uma massa de rocha ou solo. O centro de gravidade do material afetado progride para jusante e para o exterior. Incluem desabamentos (quedas), tombamentos (balançamentos), deslizamentos (escorregamentos), expansões laterais e fluxos (escoadas).

Existem cinco tipos de movimentos de massas, de acordo com a classificação da *Working Party on World Landslide Inventory* (WP/WLI, 1993): desabamento;

¹¹ A abrangência da denominação considerada ao longo do trabalho é a referida por Zêzere (1997,) que engloba: desabamentos, balançamentos, deslizamento, expansão lateral, escoada e movimentos complexos e compósitos (Movimentos de Vertente) + subsidência e expansão-retração em solos argilosos (Movimentos de Terreno) + movimentos associados ao gelo e à neve (Movimentos de Massa).

¹² Grupo de trabalho patrocinado pela UNESCO no âmbito da Década Internacional para a Redução das Catástrofes Naturais, envolvendo três sociedades geotécnicas internacionais.

balançamento; deslizamento; expansão lateral e escoada. Esta dissertação centra-se apenas nos desabamentos, deslizamentos e nas escoadas, uma vez que encontram-se com maior frequência na área de estudo.

I. 2.1 Tipologia dos movimentos de massas

Desabamento

O desabamento é definido segundo WP/WLI, 1993, citado em Zêzere (2005: 42) como “...uma deslocação de solo ou rocha a partir de um abrupto, ao longo de uma superfície onde os movimentos tangenciais são nulos ou reduzidos. O material desloca-se predominantemente pelo ar, por queda, saltação ou rolamento...”.

Deslizamento

O deslizamento de acordo com WP/WLI, 1993, citado em Zêzere (2005:43) “...é um movimento do solo ou da rocha que ocorrem predominantemente ao longo de planos de rutura, ou zonas relativamente estreitas, alvo de intensa deformação tangencial...”. A massa deslocada durante o movimento permanece em contacto com o material subjacente não afetado, apresentando graus de deformação bastante variáveis, consoante o tipo de deslizamento. Em função do plano de rutura os deslizamentos subdividem em deslizamentos rotacionais e translacionais.

Deslizamentos rotacionais

Os deslizamentos rotacionais verificam-se ao longo de superfícies de rutura curvas, em meios, geralmente, homogêneos e isotrópicos com diferentes tipos de atividade (simples, múltiplo e sucessivo). Em função da posição relativa do plano de rutura, estão subdivididos por rutura de vertente, rutura de sopé; rutura de base (Dikau 1996, Zêzere 2005).

Deslizamentos translacionais

Para Rebelo (1977) estes movimentos implicam uma translação que se verificam numa vertente, seguindo, na maior parte dos casos, uma superfície plana, bem lubrificada e com alguma inclinação obtendo por isso a sua designação de movimentos

translacionais. Ainda Dikau *et al.*, (1996) subdividem estes movimentos em função do tipo de plano de rutura, obtendo-se os denominados deslizamentos translacionais com rutura compósita e os deslizamentos com rutura planar.

Escoadas

As escoadas são movimentos contínuos de massa (muito parecidas a um material viscoso) ao longo das vertentes em que as superfícies de tensão tangencial são mal preservadas e efémeras (WP/WLI, 1993, citado em Zêzere (2005: 45).

Os movimentos de massas, os deslizamentos e desabamentos, estão bem presentes no arquipélago de Cabo Verde nomeadamente nas ilhas de relevo mais acidentado¹³. Nos declives mais acentuados são frequentes as quedas de blocos devido à ação da gravidade, originando a formação de cascalheiras, resultantes da acumulação de materiais basálticos. A predisposição dos basaltos para a fragmentação em lajes e prismas, facilita o processo de desabamento, dando origem a pedregais¹⁴ na base das vertentes (Brito e Semedo, 1995).

Os deslizamentos verificam-se, sobretudo, aquando da ocorrência das precipitações intensas e afetam essencialmente as áreas desprovidas de vegetação. A infiltração da água nos solos pouco coesos funciona como fator desestabilizador das vertentes, sobretudo as de declives mais acentuados facilitando o processo de deslizamento. Estes fenómenos de movimento em massa, bem como a escorrência superficial, aquando das chuvas intensas, desencadeiam processos de erosão acelerada dos solos, com a formação de ravinas e barrancos nas vertentes em formações pouco consistentes.

¹³ As ilhas de relevo mais acidentado são Santo Antão, Santiago, Fogo e São Nicolau.

¹⁴ Refere-se a uma designação local, o termo científico são escombreiras.

I. 3. Cheias/inundações e movimentos de massas enquanto catástrofes naturais

Os movimentos de massas têm sido a causa de algumas catástrofes em diversos pontos do Mundo, sendo responsáveis por um elevado número de vítimas mortais e avultados danos materiais (Epifânio, 2013). Por outro lado, as cheias/inundações são fenómenos naturais conhecidos a nível mundial pelas consequências catastróficas (Ramos, 2013).

Para ilustrar esta ideia recorre-se a textos noticiosos que exemplificam algumas situações de catástrofes. O Diário de Notícias¹⁵ do dia 13 de janeiro de 2011 avançava “...deslizamentos de terra na região serrana do Rio de Janeiro causaram a morte a pelo menos 417 pessoas. Os alertas sobre a intempérie foram ignorados pela proteção civil daquele estado do Brasil...” Ainda o Jornal Público¹⁶ do dia 27 de junho de 2012 relatava “...Bangladesh está a ser palco de deslizamentos de terras e cheias que já provocaram cerca de 70 mortos e deixaram 200 mil pessoas sem-abrigo na sequência de chuvas intensas...” No dia 08 de setembro de 2014 a SIC Notícias e a Sapo¹⁷ noticiavam “...mau tempo já fez mais de 300 mortos na Índia e no Paquistão. Os deslizamentos de terra e as cheias provocadas pelas chuvas fortes que atingiram os dois países deixaram milhares de pessoas sem casa...”

Um fenómeno natural pode tornar-se em catástrofe segundo a EM-DAT¹⁸ se provocar uma das seguintes situações: (i) 10 ou mais pessoas mortas, (ii) 100 ou mais pessoas afetadas (no imediato), (iii) pedido de ajuda internacional, (iv) declaração do estado de emergência. Aplicando este critério ao caso particular de Cabo Verde verificam-se algumas situações de catástrofes registadas no país, mais concretamente; 1938, 1950, 1961 (com 11 vítimas, Figura 1 A), 1984 (48 vítimas) e, mais recentemente, em 2009, quando a situação mais dramática foi identificada na ilha de

¹⁵ CF. http://www.dn.pt/inicio/globo/interior.aspx?content_id=1755386&seccao=CPLP [Acedido em 10 de Março 2015]

¹⁶ CF. <http://www.publico.pt/mundo/noticia/cheias-e-deslizamentos-de-terras-no-bangladesh-fazem-70-mortos-1552190> [Acedido em 10 de Maio 2015]

¹⁷ CF. <http://sicnoticias.sapo.pt/mundo/2014-09-08-cheias-e-deslizamentos-de-terra-fazem-mais-de-300-mortos-na-ndia-e-no-paquistao> [Acedido em 14 de Maio 2015]

¹⁸ No que concerne ao conceito de catástrofe, segundo as EM-DAT (Base de Dados Internacional) consideram-se quatro critérios alternativos para que um evento particular seja considerado catástrofe. Cf. <http://www.emdat.be/criteria-and-definition> [acedido em 21 Novembro 2014].

São Nicolau, na localidade de Covoada, (mãe e dois filhos)¹⁹ morreram na sequência de deslizamentos devido a chuvas intensas (Figura, 1 B). Ainda se registaram danos materiais em casas, infraestruturas (estradas, ruas e avenidas cortadas), tendo ficado a Vila Ribeira Brava sem energia elétrica, sem rede móvel e sem sinal de rádio, e ainda sem água potável durante alguns dias.



Figura: 1 A) Destruição de casas em Setembro de 1961 em Santo Antão. **Fonte:** Sílvia Monteiro **B)** S. Nicolau (tês vítimas mortais em São Nicolau em Setembro de 2009. **Fonte:** Cunha (2009) não publicado.

Também em 2012, ocorreu uma situação dramática, na ilha de Boavista com o colapso de uma ponte e dois desaparecidos (Figura 2)²⁰. Já em 2013, registam-se três vítimas (uma em Santo Antão, uma na Boavista e outra em Santiago). Em geral, todos estes eventos tiveram um efeito devastador, resultando em mortes e perdas económicas graves, como a destruição de estradas, pontes e terra (Lima, 1999; Lima *et al*, 2003 e Monteiro, 2007, 2011).

¹⁹Em consequência dos deslizamentos de terra, uma jovem mãe e os seus dois filhos menores, ficaram soterrados sobre os escombros da casa onde viviam, acabando por morrer”. Noticiava assim o *online* Sapo.cv dia 15 de Dezembro de 2009. Cf. [acedido em 14 de Maio 2015].

²⁰ No dia 19 de Setembro de 2012 o A Semana *online* noticiava “Boa Vista: Homens arrastados pelas cheias estão perdidos no mar”. Cf. <http://noticias.sapo.cv/info/artigo/1035231.html> <http://www.asemana.publ.cv/>. [acedido em 14 de Maio 2015].



Figura 2: A queda de uma ponte sobre o Ribeira d' Água na Boavista, Setembro 2012. **Fonte:** www.asemana.publ.cv

I. 4. Perigosidade, suscetibilidade, vulnerabilidade e risco

Atendendo aos objetivos propostos nesta dissertação, torna-se pertinente fazer uma breve abordagem aos conceitos envolvidos na determinação do risco, como suscetibilidade, perigosidade e vulnerabilidade, pois permitem determinar onde podem ocorrer cheias/inundações e movimentos de massas e quais os elementos expostos ou em risco presentes nessas mesmas áreas.

Perigosidade

A perigosidade natural é a probabilidade de ocorrência de um fenómeno potencialmente destruidor, num determinado período de tempo e numa dada área. As dificuldades de incorporação da componente temporal da perigosidade e a introdução do conceito de Suscetibilidade entendido como a probabilidade espacial de ocorrência de um determinado fenómeno numa dada área com base nos fatores condicionantes do terreno, independentemente do seu período recorrência (Zêzere 2005, Julião *et al.*, 2009). A suscetibilidade representa a incidência espacial do perigo, ou seja, as áreas que são afetadas por um fenómeno perigoso potencialmente gerador de danos. A suscetibilidade responde assim à pergunta: onde ocorrem as inundações e os movimentos de massas?

Vulnerabilidade

A vulnerabilidade representa o grau de perda potencial de um elemento ou conjunto de elementos expostos, em resultado da ocorrência de um fenómeno natural de determinada magnitude. O grau de vulnerabilidade a que determinado elemento se encontra irá determinar as consequências e definir o grau de perda do mesmo, caso ocorra determinado evento com determinada magnitude. Expressa numa escala de 0 (sem perda) a 1 (perda total) de bens e pessoas (Glade e Crozier, 2005; Julião *et al* 2009).

Uma das etapas mais importantes para a avaliação do risco é o cálculo das consequências da ocorrência de um fenómeno natural (ex. sismo, cheia/inundações, movimento de massas). A capacidade de identificar os elementos em risco e as suas características encontra-se bem desenvolvida. Contudo, a avaliação da vulnerabilidade propriamente dita, ainda não se encontra nesse estágio. Na avaliação do risco associado a cheias/inundações e movimentos de massas é preciso ter em conta que no que concerne à avaliação da vulnerabilidade humana, tudo se torna mais complicado e de análise subjetiva devido à dificuldade em quantificar o valor de uma vida (Henriques, 2012).

Risco

O risco caracteriza-se pelo número de mortos e feridos expectáveis e prejuízos materiais diretos e indiretos devidos a um fenómeno natural particular, ou seja, o risco exprime a possibilidade da ocorrência de consequências gravosas, económicas ou mesmo para segurança das pessoas, em resultado da ocorrência de um fenómeno natural ou antrópico (Varnes, 1984; Zêzere, 2005; Julião *et al.*, 2009). A fórmula matemática do Risco²¹.

²¹ O Risco Específico (Re) é determinado para cada elemento em risco, através do produto entre a perigosidade e a vulnerabilidade: $Re = P \times V$.

O Risco Total (Rt) é obtido acrescentando o valor do elemento em risco ao produto anterior, devendo ser determinado para cada elemento em risco: $Rt = Rs \times E$ ou $Rt = P \times V \times E$, onde E corresponde ao valor do elemento em risco.

I. 5. A relevância do tema no Quadro do Ordenamento do Território

A necessidade de estudar os fenómenos naturais que se manifestam no arquipélago de Cabo Verde é cada vez mais uma prioridade de forma a mitigar e reduzir a vulnerabilidade da população. Neste sentido, as políticas de ordenamento do território assumem um papel de destaque na forma como se irão estabelecer a organização e ocupação do solo, ou seja, as regras que vão determinar a interação dos seres humanos com o território.

Os eventos de 18 de setembro de 2009 que provocaram avultados prejuízos materiais com perdas de vidas humanas no país suscitaram muitos debates em vários Órgãos de Comunicação Social, despertando o interesse de políticos, de vários investigadores nacionais e internacionais e outros atores da sociedade civil, mas esta é uma situação que o arquipélago vem enfrentando ao longo dos tempos. A população, esta continua a construir nos leitos de cheia, nas encostas declivosas, o que tem contribuído em muito para o aumento da vulnerabilidade às cheias/inundações e aos movimentos de massas nas vertentes.

Para Costa Lobo *et al*, (1990: 213) o ordenamento do território “...*é um processo integrado e racional de organização do espaço biofísico, de acordo com as vocações e capacidades e que, com base em conhecimento técnicos e científicos identifica as invariantes do território...*”. Já Gaspar (1995: 5) realça que o ordenamento do território “...*é a arte de adequar as gentes e a produção de riqueza ao território numa perspetiva de desenvolvimento...*”. Ainda Oliveira (2002: 11) explica que o ordenamento do território, é “*a aplicação ao solo de todas as políticas públicas, designadamente económico-sociais, urbanísticas e ambientais, visando a localização, organização e gestão correta das atividades humanas...*”. Ainda Ramos, *et. al.*, (2001) acrescenta que um dos objetivos do ordenamento do território é o de garantir a sua utilização sustentável, maximizando os recursos que nela apresenta e minimizando os riscos que o afetam. Estas ideias de ordenamento do território pressupõem desenvolvimento, mas sempre com a tónica de minimização dos impactes decorrentes dos fenómenos naturais extremos.

No caso concreto de Cabo Verde, o ordenamento do território surgiu desde o início do povoamento, pode-se afirmar que o ordenamento estabelece bases para as estratégias de desenvolvimento do território, visando critérios de povoamento, economias de espaço e de localização, da atividade regional e local Partidário (1999). Antes da independência nacional, em 1975, Cabo Verde enquanto colónia portuguesa

estava sujeito às leis portuguesas, nomeadamente as relativas ao ordenamento do território. Algumas dessas leis apresentavam-se confusas e de pouca aplicabilidade, tendo em conta que foram concebidas para outras realidades territoriais. A lei dos solos, surgida ainda em 1970-73, vigorou durante alguns anos após a independência nacional, até a ser revogada pelo Decreto-Legislativo (DL) nº 2/2007.

O DL nº 1/2006 de 16 de Julho, com as alterações introduzidas pelo mesmo DL nº 6/2010 de 21 de Junho, estabelece que o ordenamento do território e o planeamento devem atender às características e vocação dos solos e sua sustentabilidade; ao melhor aproveitamento dos recursos naturais e ao seu carácter renovável ou não renovável; à proteção da biodiversidade; à solidariedade e compromisso com as gerações futuras; ao desenvolvimento equilibrado das regiões; à justa repartição da riqueza nacional e aos demais interesses económicos, sociais e culturais do país.

A lei de bases da proteção civil prevê com o decreto-lei nº 12/2012²², de 7 de Março, o levantamento, previsão, avaliação e prevenção dos riscos coletivos e a análise permanente das vulnerabilidades perante situações de risco. Ainda no enquadramento institucional e operacional da proteção civil, no âmbito municipal está previsto elaborar e atualizar o plano municipal de emergência e os planos especiais necessários.

Nesta linha de pensamento, a Lei de Bases do Ordenamento do Território e Planeamento Urbanístico, aprovada pelo DL nº 1/2006 de 16 de Julho, com as alterações introduzidas pelo DL nº 6/2010 de 21 de Junho, revela os instrumentos de ordenamento e desenvolvimento do território de natureza estratégica, como aqueles que articulam as grandes opções relevantes para a organização do território e um dos seus fins é acautelar a proteção civil da população, prevenindo os efeitos decorrentes de catástrofes naturais ou da ação humana.

O ordenamento e planeamento na cidade do Mindelo ao longo dos tempos não têm sido tarefa fácil. Após a independência do país, os decisores têm pautado pela sua melhor organização, através da criação e adoção de planos, programas e projetos²³ nas mais diversas componentes.

Os planos municipais e o Esquema Regional de Ordenamento do Território (EROT) de São Vicente ressaltam algumas áreas fulcrais como ribeiras e leitos de cheia,

²² Para mais qualquer informação detalhada consulte a lei de bases da proteção civil de Cabo Verde de acordo com o decreto-lei nº 12/2012.

²³ Exemplos de alguns planos e programas Plano de Urbanização, Plano Detalhados, Planos de Reconversão das Áreas Urbanas de Génese Ilegal (AUGI); Projetos de loteamento; Programa Casa para Todos.

tendo em conta que a preservação e a requalificação das ribeiras, linhas de água e respetivos leitos de cheia são fundamentais para o equilíbrio biofísico e para o controle do regime torrencial.

CAPÍTULO II: ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO DA ILHA DE SÃO VICENTE NO ARQUIPÉLAGO DE CABO VERDE

O arquipélago de Cabo Verde está situado no Oceano Atlântico, entre o Trópico de Câncer e o Equador, a cerca de 500km da costa do Senegal, 1400km a Su Sudoeste (SSW) das Canárias e 2000km a Este (E) do atual “rift” da crista média atlântica. É limitado pelos paralelos 17° 13’ Norte (N) (Ponto Cais dos Fortes Santo Antão) e 14° 48’ Norte (N) (Ponta Martinho, Brava), e pelo meridiano 22° 42’ Oeste (W) (Ilhéu Baluarte, Boavista) e 25° 22’ Oeste (Ponta Chã de Mangrado, Santo Antão). Cabo Verde pertence a Macaronésia, juntamente com os arquipélagos dos Açores, da Madeira e das Canárias, com fortes semelhanças relativamente à origem vulcânica, à flora e à fauna (Victória, 2006).

O arquipélago encontra-se dividido em dois grupos. O grupo de Barlavento é composto por todas as ilhas do Norte, alinhadas na direção Noroeste/Sudeste, das quais Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia (não habitada), São Nicolau, Sal, Boavista e os ilhéus Boi, Pássaros, Branco, Raso, Curral do Dadó, Rabo de Junco, Fragata, Chano e Baluarte. O grupo de Sotavento é composto pelas ilhas do Sul, com orientação Nordeste-Sudoeste, onde se encontram as ilhas do Maio, Santiago, Fogo, Brava e os ilhéus Santa Maria, Cima, Luís Carneiro e Grande.

Cabo Verde é caracterizado por um relevo diversificado de ilha para ilha. A maioria das ilhas (nas quais se enquadra São Vicente) são montanhosas, apresentando um relevo vigoroso, com aparelhos vulcânicos bem conservados e numerosos e extensos vales, muito encaixados. As maiores altitudes ocorrem na ilha do Fogo, no Pico do Vulcão atinge a altitude máxima com 2829 m, na ilha de Santo Antão a maior altitude é no Topo da Coroa com 1979 m, na ilha de Santiago é no Pico da Antónia com 1392 m e na ilha de São Nicolau é no Monte Gordo com 1304 m.

O arquipélago de Cabo Verde é constituído por 22 municípios e 32 freguesias, distribuídas pelas nove ilhas habitadas, e uma desabitada que é a ilha de Santa Luzia. Quanto à demografia residiam no arquipélago, à data do último censo de 2010, 491.683 habitantes. (INE, 2010). A distribuição da população pelas ilhas foi sempre muito irregular sendo a maior concentração nas ilhas de Santiago, São Vicente, Santo Antão e Fogo (Rocha, 2010) (Figura 3).

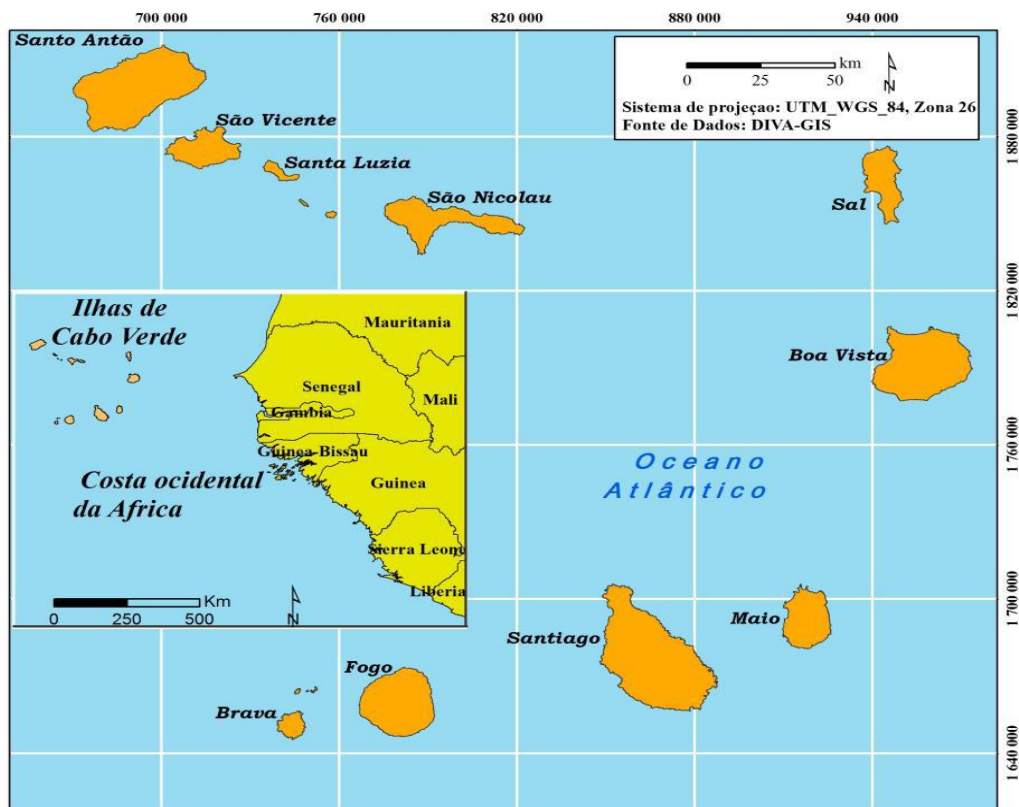


Figura 3: Enquadramento geográfico no arquipélago de Cabo Verde **Fonte:** www.sit.gov.cv
[Acedido em 10/04/2015]

II. 1. Localização

A ilha de São Vicente localiza-se a Nordeste do arquipélago de Cabo Verde, entre os paralelos 16° 46' e 16° 55' de latitude Norte e os meridianos de 24° 51' e 25° 05' de longitude a Oeste de Greenwich (Figura 4). A ilha tem uma superfície de 227 km², representando 5,6% do total da superfície do arquipélago habitado (Cruz, 2007).

São Vicente integra o grupo das ilhas do Barlavento. O canal de São Vicente separa-a da vizinha ilha de Santo Antão. É considerada uma ilha com vastas áreas aplanadas, com vários maciços montanhosos, sendo o Monte Verde o ponto mais alto da ilha com cerca de 750 metros de altitude (Cruz, 2007).



Figura 4: Localização da ilha de São Vicente.

II. 2. Clima

São Vicente apresenta um clima tropical seco, com uma temperatura média anual de 24 °C (Dinis, 1994). Os ventos dominantes na ilha são do Nordeste, atingindo velocidades médias na ordem dos 19,8 Km/h. Entre dezembro a março a ilha encontra-se sobre a influência do “harmatão”, vento quente e seco do Leste, que além de provocar o fenómeno vulgarmente conhecido como “bruma seca”, reduz a humidade e aumenta a evapotranspiração (Amaral, 2007; e Rocha, Costa, e Sanches, 2011).

Para caracterização da precipitação da ilha de São Vicente optou-se por analisar os dados referentes à precipitação total anual, uma vez que a precipitação é um fator importante no desencadear de cheias/inundações e movimentos de massas na ilha. Procurou-se fazer uma análise mais exaustiva desses dados, que fosse representativa da

região, onde a ilha de São Vicente se insere, foram analisados as oito estações existentes Mindelo, Mato Inglês, Pé de Verde, Monte Verde, Ribeira de Vinha, São Pedro, Madeiral e Calhau.

Para a caracterização climática a uma escala local, procedeu-se à análise estatística das séries temporais disponíveis de elementos do clima (temperatura e precipitação) observados nas estações climatológicas da ilha de São Vicente representadas na Figura 5.

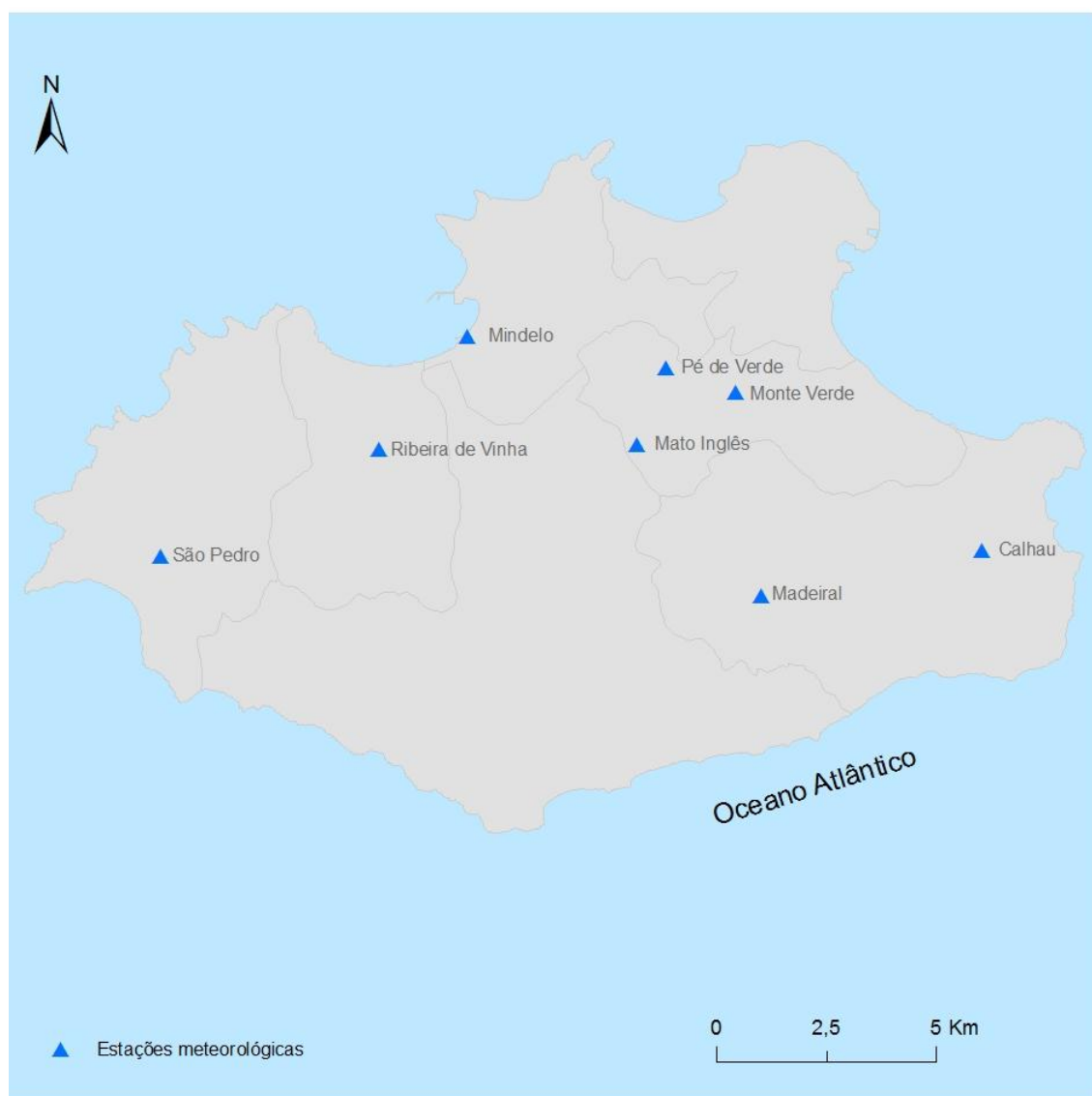


Figura 5: Localização das estações meteorológicas

As precipitações para o período de 1961-1991 para as estações da ilha foram determinadas com base nos dados fornecidos pelo o INMG, tendo a estação de Mindelo como referência correlacionados os dados entre si com o objetivo de completar as séries

anuais, sempre que os coeficientes de determinação fossem elevados (Figura 6). Deste modo, obteve-se séries de 30 anos, para as 8 estações da ilha, para o período compreendido entre 1961 e 1991.

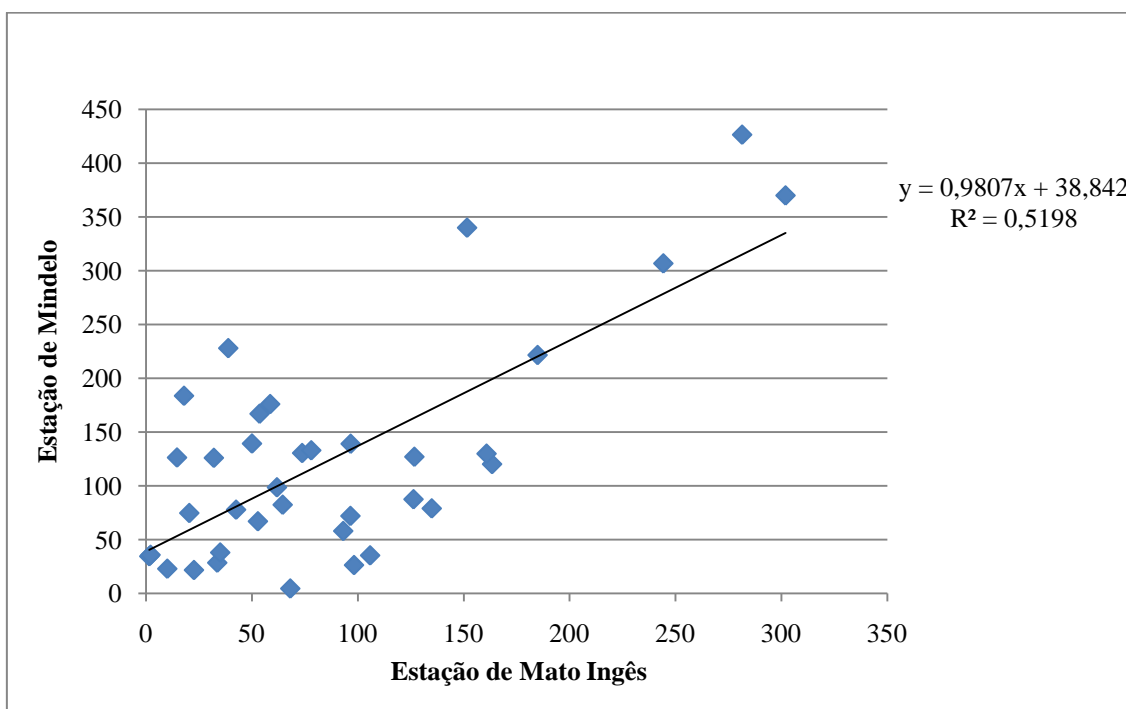


Figura 6: Coeficiente de correlação múltipla entre estações meteorológicas do Mindelo e Mato Inglês (1961-1991). **Fonte:** Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica

A precipitação da ilha foi calculada através da interpolação dos quantitativos médios anuais registados para o conjunto das estações estudadas, utilizou-se à ferramenta *IDW* do *ArcGis 10.2*, obteve-se assim o mapa representado na Figura 7. Verificou-se um importante contraste de precipitação entre os sectores a Nordeste (NE) e Sudoeste (SW) da ilha, ocorrendo-se os valores mais elevados de precipitação no Mato Inglês onde podem chegar aos 105 mm anuais. O sector ocidental da ilha regista os valores de precipitação mais baixos, 43 mm na Ribeira de Vinha e na área Sudeste 44 mm anuais no Calhau, embora estes valores possam variar de acordo com a altitude devido a influência da orografia da ilha.

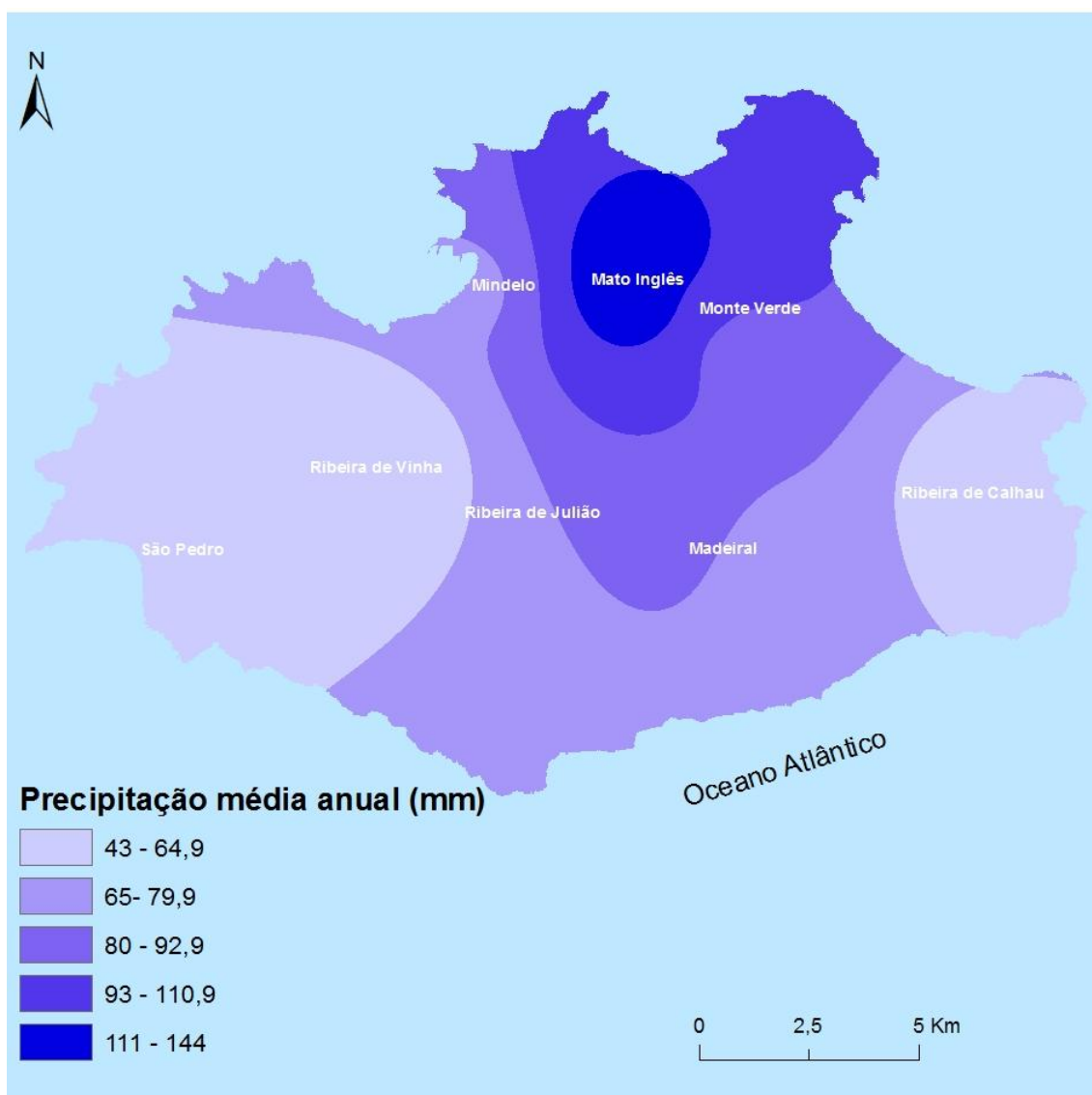


Figura 7: Repartição espacial da precipitação anual nas estações meteorológicas, com base nas Normais Climatológicas 1961-91. **Fonte:** Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica

II. 2.1 As precipitações anuais e mensais na cidade do Mindelo

De acordo com os dados do INMG, relativos à estação climatológica da cidade do Mindelo para o período 1961-2009, a precipitação média anual é de 75,9 mm, tendo variado entre um mínimo de 1,5 mm (1982) e um máximo de 281,5 mm (2009), atingindo, por isso, uma variabilidade interanual apreciável. Nestes 48 anos verificaram-se uma tendência positiva de evolução da precipitação, com um acentuado aumento da precipitação anual na última década, que registou uma precipitação média de 148 mm/ano e dois anos que atingiram uma precipitação 244,3 mm (2004) e 281,5 mm

(2009), (Figura 8). Este facto pode estar na origem de alguns problemas de inundações pela ilha.

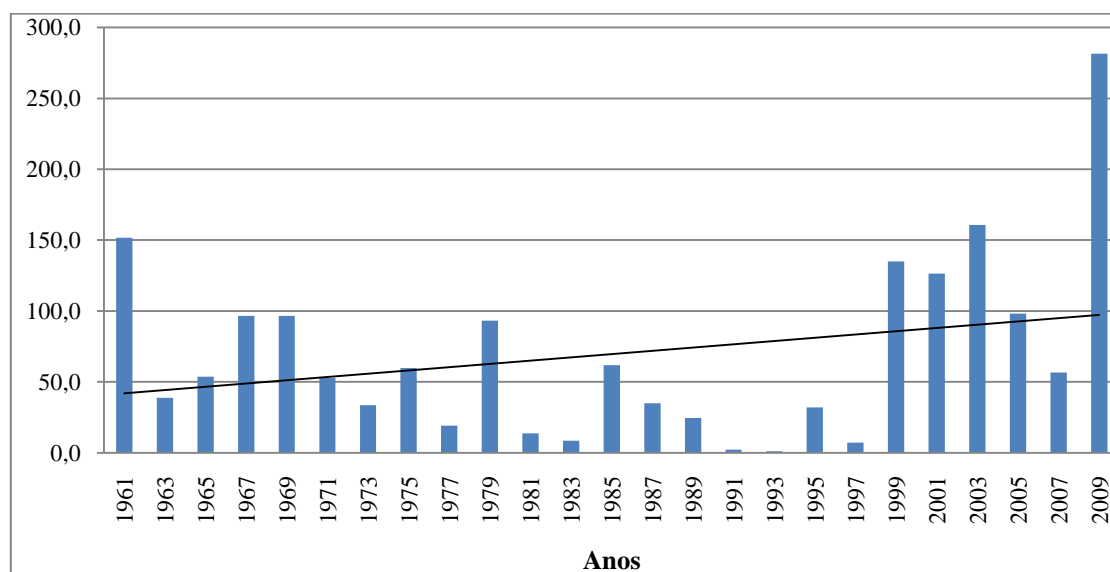


Figura 8: Variação da precipitação anual e respetiva tendência evolutiva na cidade do Mindelo (1961 - 2009). **Fonte:** Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica

A análise da precipitação por décadas (Quadro 2) acaba por confirmar o que foi dito anteriormente, pois a década de 2000, registou os valores médios de precipitação mais elevados (179,2mm/ano), seguido da década de 1960 (101,7 mm) e 1990 com (102,4mm). Em contraste com essa situação surgem as décadas de 1970 (72,5mm) e 1980 (71,1mm) que, em conjunto, definem o período mais seco da série.

Quadro 2: Características da precipitação por Décadas.

Década	Máximo (mm)	Mínimo (mm)	Média (mm)	Total Anual
1960	setembro de 1961 (101,7)	janeiro de 1961 (0,1)	71,3	151,6
1970	setembro de 1976 (72,5)	agosto de 1972 (0,3)	49,3	112,5
1980	setembro de 1984 (71,1)	outubro de 1981 (0,1)	40,9	117,7
1990	setembro de 1998 (102,4)	julho de 1990 (0,8)	42,1	163,4
2000	setembro de 2009 (179,2)	janeiro de 2009 (0,4)	148	281,5

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica

Com base nos dados fornecidos pelo INMG analisaram as temperaturas anuais médias (máximas, médias e mínimas) para o período de 1961-1991 para a estação de Mindelo. Tendo o mês de janeiro como referência correlacionados os dados entre si com o objetivo de completar as séries mensais e anuais, sempre que os coeficientes de determinação fossem elevados (Figura 20). Deste modo, calculou-se séries de 30 anos, para a estação de Mindelo, para o período compreendido entre 1961 e 1991.

Estes testes (Figura 9) mostraram que não existem grandes oscilações de temperatura ao longo do ano o coeficiente de determinação obtido é $r^2 = 0,67$

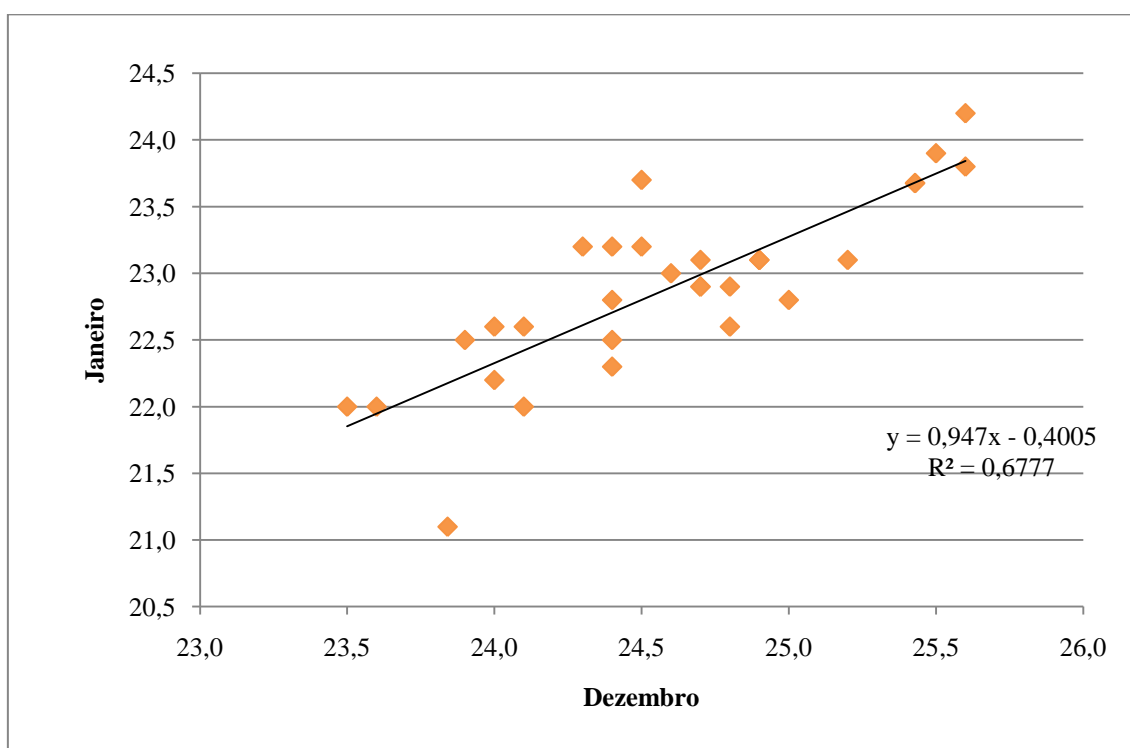


Figura 9: Coeficiente de correlação múltipla entre os meses de janeiro e dezembro²⁴ para a estação meteorológica de Mindelo (1961-1991). **Fonte:** Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.

²⁴A escolha dos meses de janeiro e dezembro justifica-se pelo coeficiente de correlação muito elevado e um menor desvio em relação a recta de regressão.

II. 2.2 Temperatura do ar

A temperatura anual média para as Normais Climatológicas de 1961 a 1990 para a estação de Mindelo é de 23,5 °C e com uma amplitude térmica anual de 4,5 °C, o que mostra que não existem acentuadas oscilações de temperatura ao longo do ano. Em relação as restantes estações até ao momento não existem registos.

As temperaturas de ar, máximas e mínimas médias, verificam-se em setembro 26,7 °C e em fevereiro 21,7 °C respetivamente, seguindo de perto o ritmo da temperatura média mensal de 23,5 °C. As temperaturas máximas e mínimas absolutas ocorrem em setembro 30,2 °C e fevereiro e janeiro 25,4 °C, e com uma amplitude térmica de 4,8 °C que é justificado devido às temperaturas mensais apresentarem sempre valores acima dos 25 °C. Os meses de julho, agosto, setembro, e outubro apresentam valores acima dos 29 °C (Figura 10).

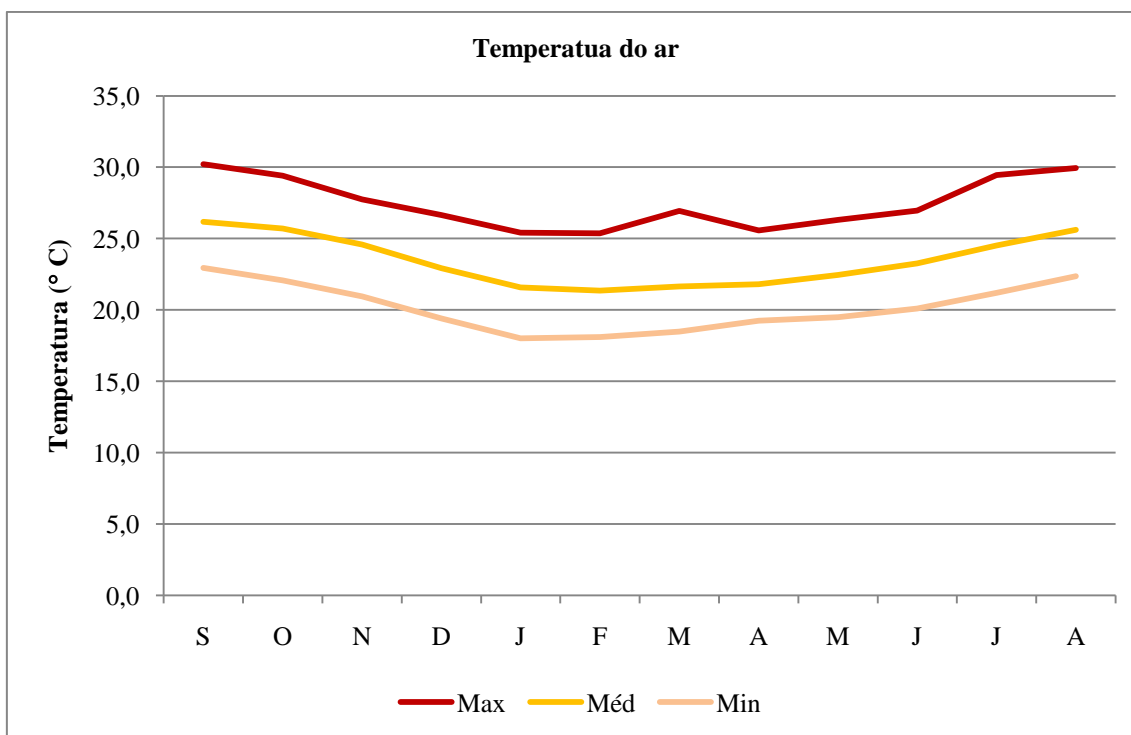


Figura 10: A variação anual das temperaturas na estação de Mindelo, com base nas Normais Climatológicas 1961- 1991. **Fonte:** Instituto de Meteorologia e Geofísica.

II. 2.3. Regime termopluviométrico

Analisando o regime termopluviométrico, ou seja, a distribuição de temperatura e precipitação verifica-se que os meses de temperatura mais elevada são os que registam os maiores quantitativos de precipitação. Os meses com as temperaturas mais baixas são os que assinalam os menores quantitativos de precipitação, definindo assim claramente uma estação de seca muito acentuada, desde Novembro a Julho (Figura 11).

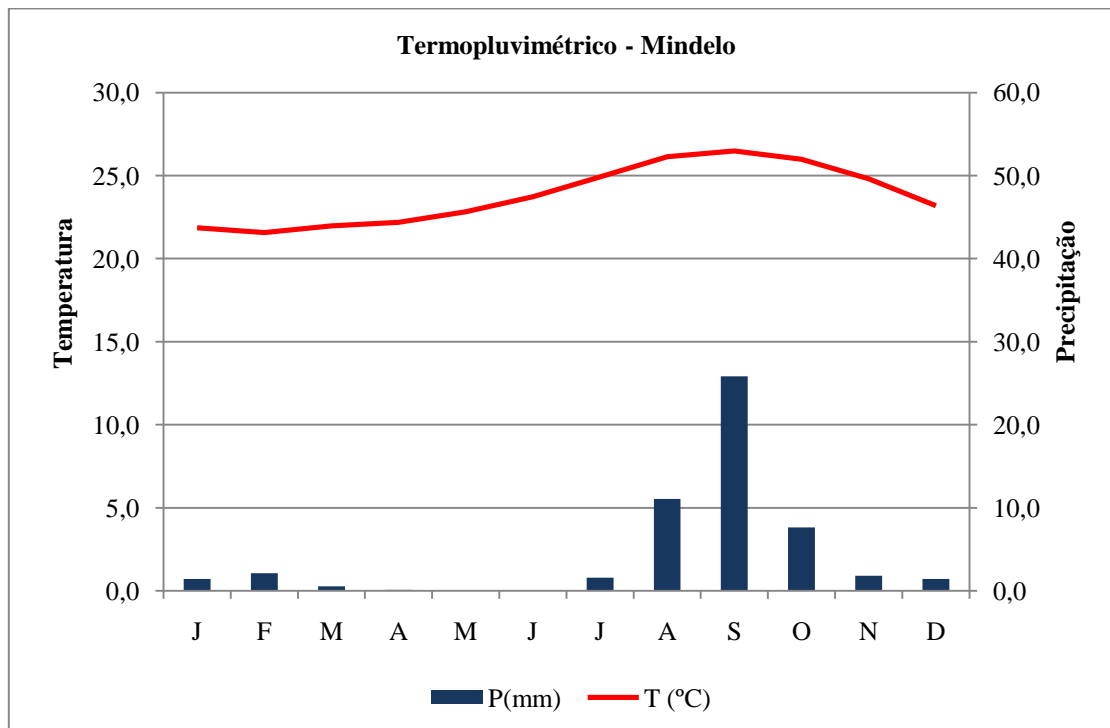


Figura 11: Regime Termopluviométrico na estação de Mindelo, com base nas Normais Climatológicas 1961-1991 **Fonte:** Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica

Na estação meteorológica do Mindelo a precipitação mensal média é de 4,5 mm. A precipitação mensal média superior a 10 mm só se verifica nos meses de agosto e setembro. Os meses de agosto, setembro e Outubro representam cerca de 83% do total precipitação mensal média. Setembro constitui o mês mais pluvioso (25,8 mm), registando-se máximos secundários em agosto e Outubro. No mês de Março verifica-se a transição para um período em que a precipitação regista-se os mínimos, definindo mesmo um período muito seco, atingindo-se os mínimos em Abril (0,1mm) Maio (0,0mm) e Junho (0,1mm), que é característico do clima tropical seco.

II. 3. Relevô

A análise geomorfológica da ilha de São Vicente é facilitada pelo Modelo Digital do Terreno (MDT) produzido através da extensão *3D Analyst do ArcGis 10.2*, provenientes da cartografia vetorial de Cabo Verde à escala 1:10 000 da Direção Geral de Ordenamento do Território de Cabo Verde. Este modelo foi elaborado com píxel de 30 metros e dele foram extraídos posteriormente os mapas de altimetria, declives, formas e exposições.

A ilha de São Vicente apresenta duas grandes áreas morfologicamente distintas, a primeira localizada a uma cota entre 100 a 150 metros de altitude, planas ou com pequenas colinas, ocupando a parte central da ilha e a Norte, cobertas por vezes, por areias eólicas. Ainda no interior da ilha, coberto parcialmente por depósitos sedimentares recentes, afloram rochas intrusivas e extrusivas, vulcânicas submarinas sem diques, e ultra-alcalinas mais recentes, estendidas pelo setor Este-Nordeste. A segunda é área, mais extensa, rodeada pela anterior e formada por um alinhamento de montanhas com cotas de altitude que oscilam entre 500 e 750 metros. Este alinhamento é cortado por três vales que estabelecem a comunicação entre o interior e o mar a Norte, a Ribeira de Vinha, aberta na Baía do Mindelo, a Sudoeste, a ribeira de São Pedro, formando a baía com o mesmo nome e a Este-Sudeste a Ribeira do Calhau, isto de acordo com o Esquema Regional de Ordenamento do Território (EROT, 2012) de São Vicente.

De acordo com o relatório do EROT (2012), nas unidades geomorfológicas mais acidentadas ou derivadas do vulcanismo ressaltam-se maciços residuais (Figura 12), cones vulcânicos e outras formas de relevo. Quanto as primeiras formações destacam-se o maciço montanhoso do Monte Verde, com cerca de 750 metros de altitude, e é o ponto mais alto da ilha. Na parte Noroeste são mais representativas as formações de Monte Cara e Garrachiça. Já na parte central e a Norte, ambos maciços, surgem formações montanhosas em formas de cristas que descem até ao mar. Entre cristas dos interflúvios formam-se vales de vertentes abrutadas e de fundos planos, terminando em pequenas baías.



Figura 12: Maciço Residual (EROT, 2012)

Relativamente as segundas formações devido a sua origem vulcânica encontram-se na ilha de São Vicente, alguns cones vulcânicos, em consequência do vulcanismo mais recente. O maior número de edifícios vulcânicos situa-se a Este da ilha (EROT, 2012). A título ilustrativo a Sudeste da ilha encontra-se o Pico do Vento, com 435 metros de altura (Figura 13), Cratera do Curral João Paula, ou Cratera do Vulcão de Viana com 158 m.



Figura 13: Cone vulcânico do Pico do Vento (EROT, 2012)

Em relação às formas de modelado encontra-se na ilha de São Vicente interflúvios, depressões, barrancos, relevos em cristas, dunas e praias. Os barrancos são uma das formas de relevo mais frequentes nas ilhas montanhosas e normalmente distinguem-se pelo encaixado ou fundo amplo, de acordo com morfologia do seu leito (EROT, 2012). O barranco de leito encaixado encontra-se, nas áreas de maior altitude. Por exemplo na formação do Monte Verde, encontram-se as Ribeira de Baleia, do Feijoal Preto ou da Aldeia. Por outro lado, os barrancos de leito amplo (Figura 14) observam-se nas áreas mais baixas. Pode-se citar como exemplo a Ribeira da Calheta Grande, a Ribeira do Monte Preto, a do Meio e a de Palha de Carga.



Figura 14: Barranco com fundo amplo (EROT, 2012)

Em geral, a ilha de São Vicente no sector mais oriental as altitudes variam de Noroeste para Sudeste, onde predominam os relevos mais elevados. O interior e a faixa litoral são caracterizados por apresentarem altitudes baixas, média de 20m. A parte central corresponde a uma antiga caldeira, enquanto a faixa costeira é dominada por plataformas costeiras de altitudes baixas (Figura 15, Quadro 3).

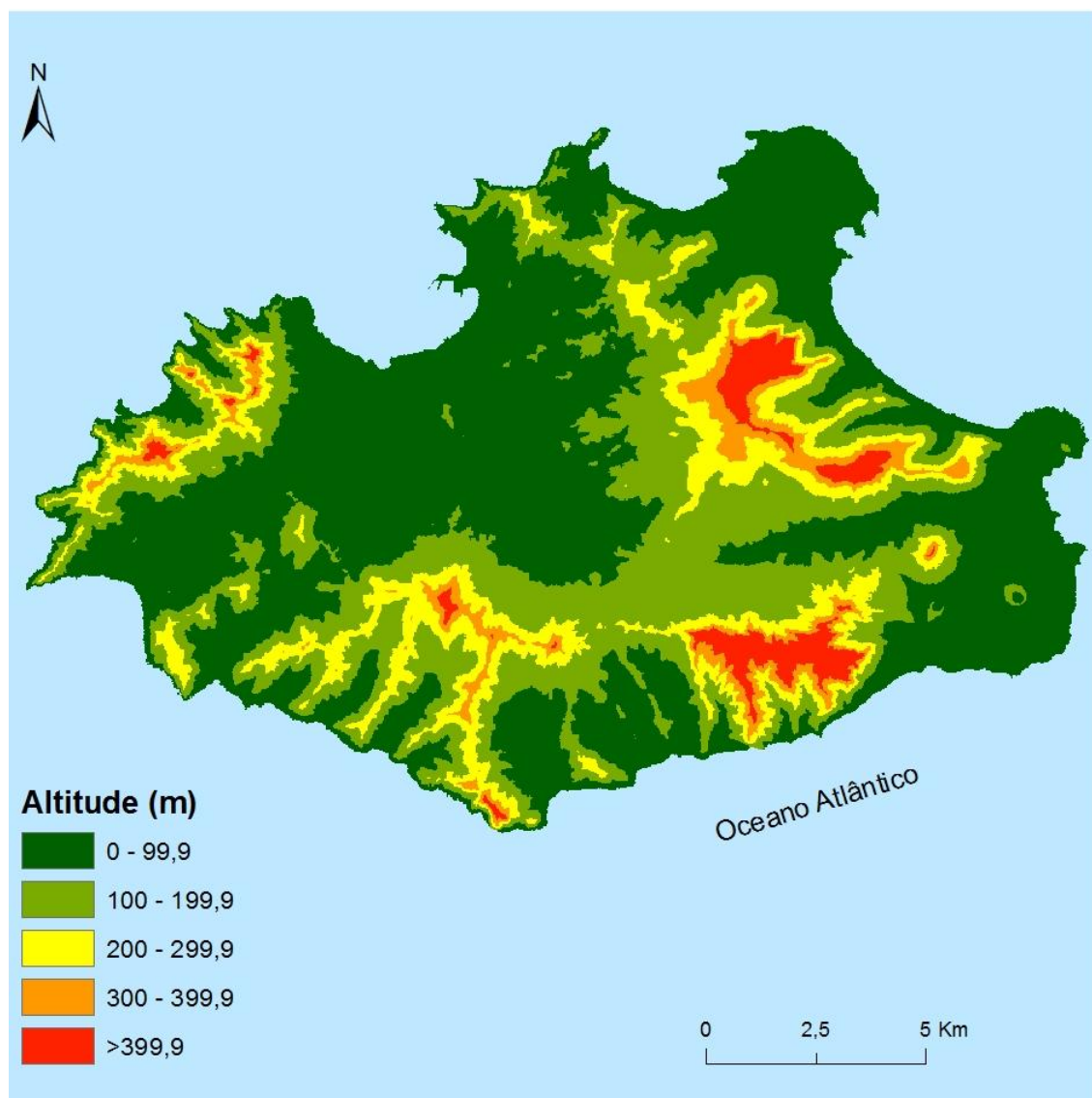


Figura 15: Altimetria da ilha de São Vicente

Quadro 3: Classes de Altitude da ilha de São Vicente

Classes	Área (ha)	Área (%)
0 - 99,9	11892,61	53,09
100 - 199,9	6452,88	28,81
200 - 299,9	2505,96	11,19
300 - 399,9	920,86	4,11
>399,9	628,02	2,80
Total	22400,33	100,00
Média	119 m	
Máximo	740 m	

Declive

O declive varia entre 0° e $70,87^\circ$, e classifica-se em cinco classes, com amplitude de variável, sendo que na última classe engloba-se todos os valores superiores a 30° até ao máximo registado, que são os $70,87^\circ$ (Figura 9, Quadro 2).

São Vicente apresenta um declive máximo de $70,87^\circ$, sendo que a média de declive nesta ilha é de $14,25^\circ$. As três classes entre 0° a $4,9^\circ$, 5° a $9,9^\circ$ e 10° a $14,9^\circ$ são as de maior representatividade. Analisando o Quadro 8, poderíamos dividir as classes de declive em dois grupos. O primeiro entre 0° a $14,9^\circ$ e o segundo de 15° a maior de $29,9^\circ$. O primeiro representa 58% da área de estudo e o segundo representa os restantes 42% (Figura 16, Quadro 4)

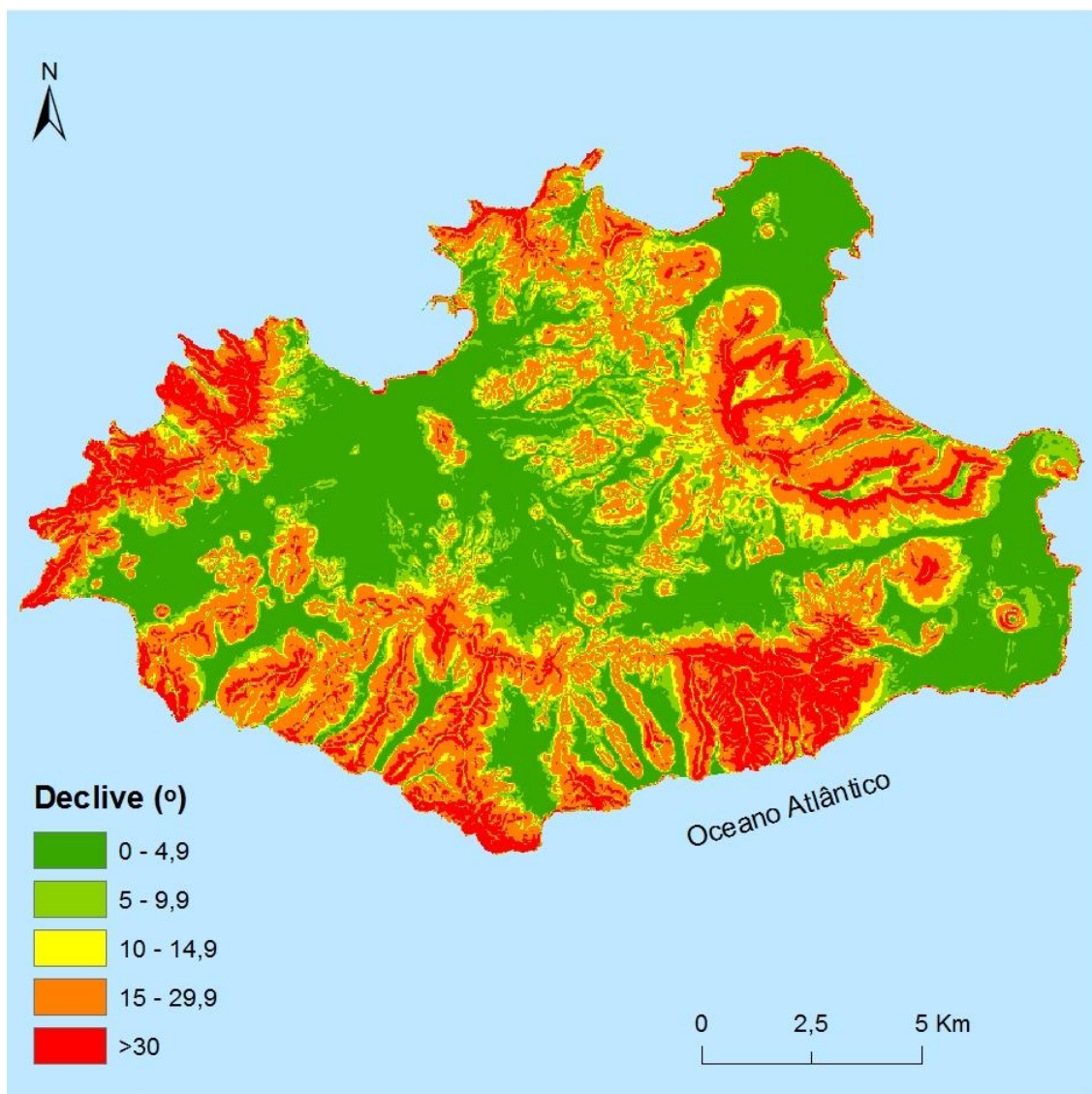


Figura 16: Declives da ilha de São Vicente

Quadro 4: Classes de declive da ilha de São Vicente

Classes	Área (ha)	Área (%)
0- 4,9	7700	34
5 -9,9	2956	13
10-14,9	2358	11
15-29,9	6545	29
>30	2837	13
Total	22396	100
Média	14,25°c	
Máximo	70,87°c	

Exposições de vertentes

No que se refere às exposições, tal como se pode verificar pela Figura 10 e pelo Quadro 3 as vertentes do concelho estão maioritariamente expostas a Norte, com 14,84% e Sudeste com 13,95%. Os quadrantes Sudoeste, com 10, 76 % e Oeste, com 10,50% são os menos representativos (Figura 17, Quadro 5).

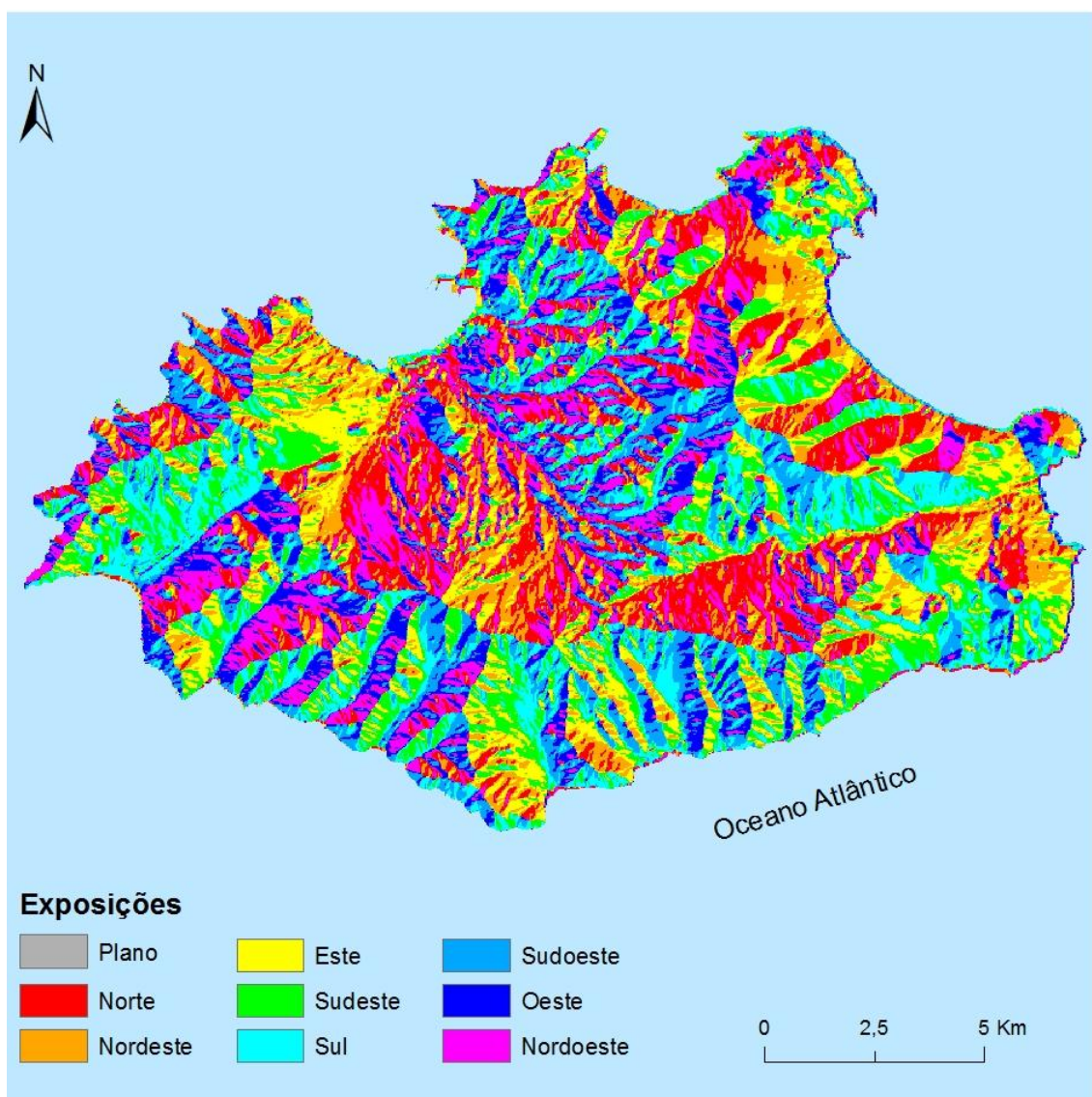


Figura 17: Exposições de vertentes

Quadro 5: Classes de exposições das vertentes da ilha de São Vicente

Classes	Área (ha)	Área (%)
Plano	3,54	0,02
Norte	3323,25	14,84
Nordeste	2827,09	12,62
Este	2676,31	11,95
Sudeste	3124,31	13,95
Sul	2821,44	12,60
Sudoeste	2410,7	10,76
Oeste	2350,36	10,50
Noroeste	2857,26	12,76
Total	22394,26	100,00

Forma das vertentes

Quanto à sua classificação foram definidas três classes. Para Garcia (2012), os valores negativos indicam vertentes côncavas, os positivos representam vertentes convexas e as superfícies retilíneas com valor associado de 0.

A classe com maior representação é a retilínea com 63,4%. Seguida da classe convexa com 30,2% e a côncavo com 6,4% (Figura 18; Quadro 6).

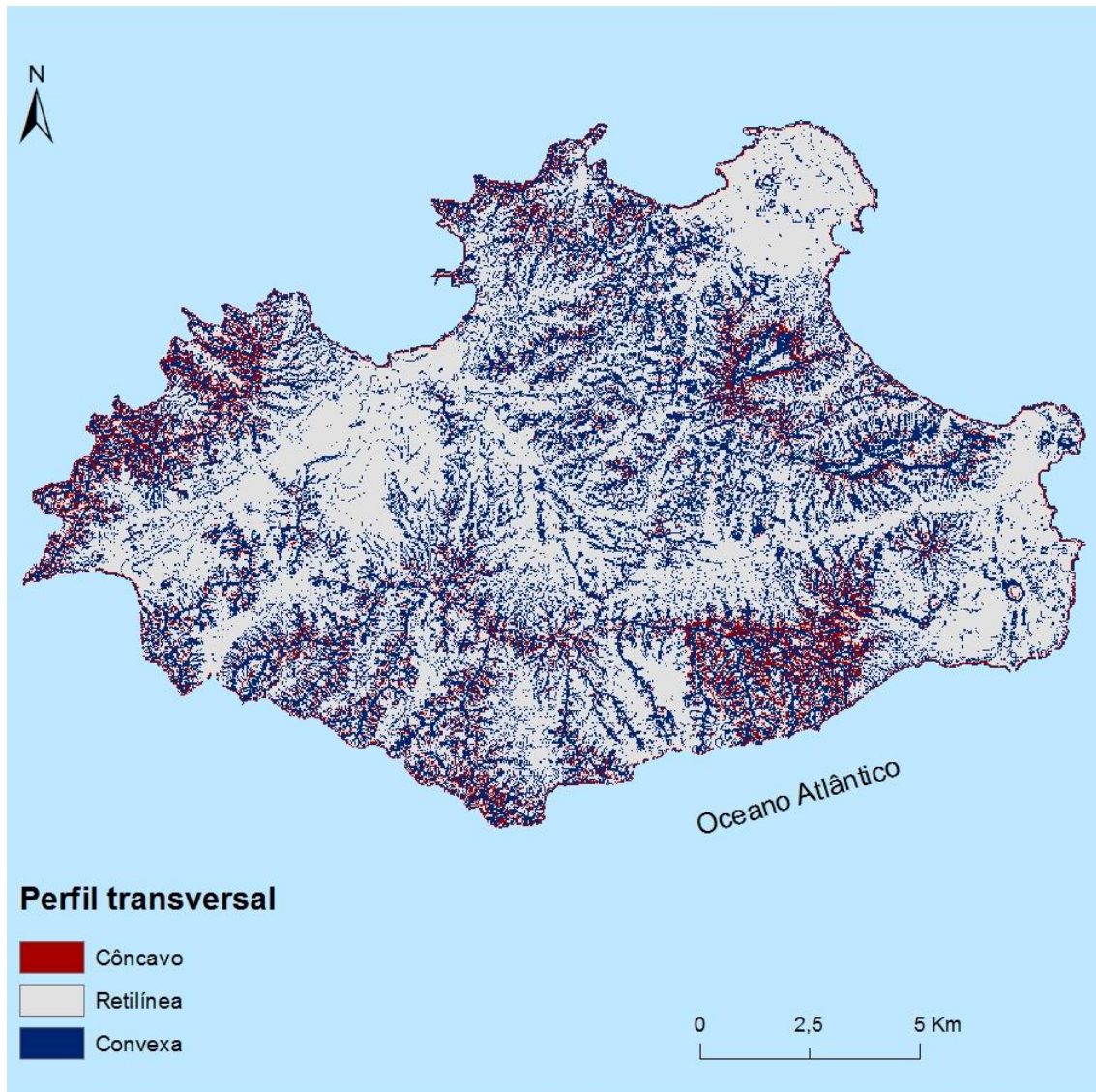


Figura 18: Perfil transversal das vertentes

Quadro 6: Classes de perfil transversal das vertentes da ilha de São Vicente

Classes	Área (ha)	Área (%)
Côncavo	1444	6,4
Retilínea	14198	63,4
Convexo	6754	30,2
Total	22396	100,0

II. 4. Litologia

Os materiais litológicos de superfície e que mais diretamente influenciam a pedogénese e a evolução dos solos são essencialmente de origem eruptiva. Na verdade, as formações sedimentares resumem-se aos depósitos recentes do tipo aluvial, essencialmente no vale do Lameirão e das principais ribeiras a estenderem-se em leque a partir dos sopés das vertentes montanhosas as coberturas de areia calcária. Estas constituem corredores de deposição dunar no enfiamento dos vales abertos e, por fim, às pequenas manchas de “lajedo” calcário da área do Lazareto, constituídas por areia calcária de deposição eólica (Diniz e Matos, 1994).

Diniz e Matos (1994), analisando a ilha de São Vicente no seu todo, referem que se pode admitir, quanto às formações eruptivas, a seguinte repartição geológica; destaca-se o Complexo eruptivo antigo, Complexo eruptivo intermédio e a Última fase eruptiva. O Complexo eruptivo antigo que ocupa a chã da caldeira, onde há a destacar os afloramentos de rochas granulares (gabros, sienitos, etc), as brechas eruptivas e o denso emaranhado de filões, diques, colos e domos eruptivos, que irrompendo atravessaram o chão da caldeira, salientando-se, quanto aos últimos, os de rochas fonolíticas. Em relação Complexo eruptivo intermédio em correspondência com o estrato-cone e a relacionar-se essencialmente com a cercadura montanhosa atual, parte integrante da primitiva bordeira do grande vulcão que era ilha de São Vicente, agora desmantelado, e cujos materiais litológicos se dispõem em alternância estratigráfica (derrames lávicos e níveis de piroclastos) e com uma inclinação de camadas sensivelmente igual à do primeiro cone, sendo todo o conjunto eruptivo atravessado de alto a baixo por numerosos filões de diques. Última fase eruptiva a exemplo de outras ilhas a ter lugar no Plistocénico, sendo assinalada por diversos aparelhos vulcânicos que se distribuem nas partes Leste (Calhau, Curral de João Paulo, e Viana) e Nordeste (Salamansa), sendo constituídos por cones muito salientes, alguns deles encimados por

crateras e de cuja atividade resultaram derrames lávicos a envolver superfícies de extensão apreciável e a emissão de materiais piroclásticos (cinzas e lapili), que por sua vez recobriram áreas relativamente restritas (Figura 19)

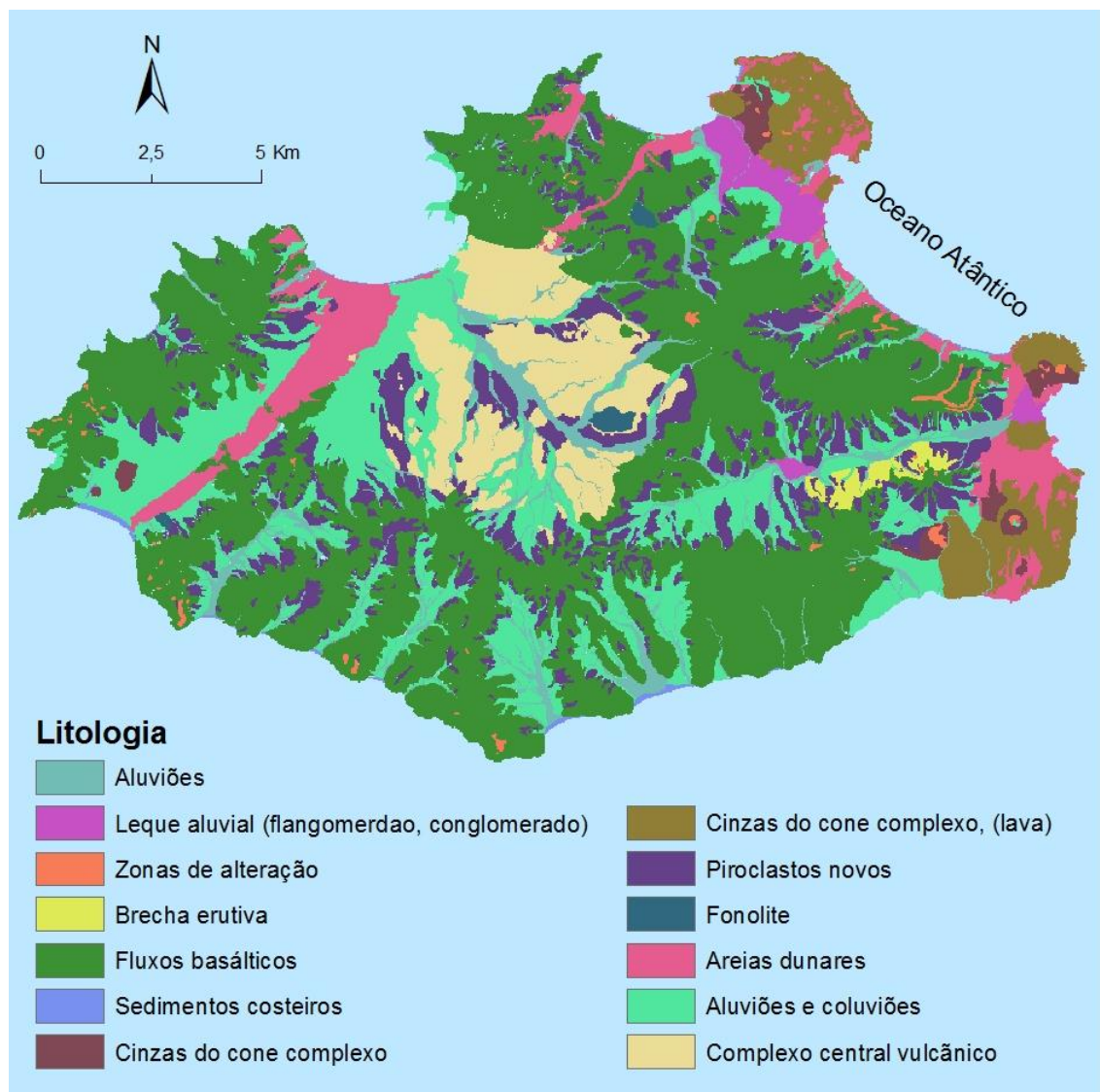


Figura 19: Litologia da ilha de São Vicente (adaptado da Carta Geológica de São Vicente, esc. 1/500000)

A análise das formações litológicas foi feita a partir da carta geológica da ilha de São Vicente (Serralheiro *et al.*, 1983). Observa-se que a classe dos fluxos basálticos, representa 42,53 %, segue-se a classe dos detritos sedimentares (cascalho, areia) com 28,59%, os piroclastos novos constituem 17,76%, ainda os gabros, sienites, brechas e lavas basálticas com cerca de 7,60 %. As restantes formações afloram em áreas muito pequenas, algumas delas como uma representação quase insignificante de 4,74%, (Quadro 7).

Quadro 7: Classes de Litologia da ilha de São Vicente

Código	Descrição	Área (ha)	Área (%)
A	Vale de preenchimento aluvial (areia e cascalho),	1223,49	5,42
Af	Leque aluvial (fanglomerado, conglomerado),	367,4	1,63
Az	Zonas de alteração	121,41	0,54
bc	Brecha eruptiva	147,61	0,65
bn	Fluxos basálticos, nefelíticos e piroclastos	9606,27	42,53
c	Sedimentos costeiros (areia, cascalho, pedregulho),	80,51	0,36
cc	Cinzas do cone complexo, indiferenciado (piroclastos e lava),	275,56	1,22
ccl	Cinzas do cone complexam, lava basáltica	1118,63	4,95
pc	Piroclastos novos (piroclastos coloridos), plistoceno	2616,97	11,59
ph	Fonolite	77,51	0,34
s	Cobertura de areia, duna	1376,28	6,09
t	Talude, terraço aluvial (detritos, cascalho, areia),	3858,42	17,08
vc	Complexo central vulcânico (gabro, sienite e brechas vulcânicas)	1716,97	7,60
Total		22587,03	100,00

II. 5. Hidrografia

A rede hidrográfica constitui, também, um aspeto importante no âmbito da descrição geomorfológica da ilha, uma vez que esta é em parte responsável pela sua fisionomia. A rede hidrográfica é comandada pelas ribeiras de Vinha e de Julião, as quais convergem para a orla do Porto Grande, o ponto mais baixo da chã da caldeira. As ribeiras de São Pedro e Calhau, cujos cursos ao progredirem para o interior rasgaram profundos entalhamentos nos alinhamentos montanhosos (Diniz e Matos, 1994).

A ribeiras da Perna Torta a Nordeste, e Lameirão a Sul, separam o maciço Vigia do maciço Verde, as quais têm as suas nascentes nos contrafortes ocidentais do Monte Verde, seguindo a primeira de Sul para Norte, e a segunda de Leste para Oeste. As ribeiras de Palha Carga e Madeiral separam os maciços Topo de Caixa e de Madeiral (Bebiano, 1932).

Na rede hidrográfica apenas se assinalam caudais superficiais quando ocorrem fortes chuvadas, tornando-se frequente, em relação às linhas de água que drenam as áreas mais vulneráveis aos processos erosivos, o entulhamento dos leitos e da própria baixa aluvial por um amontoado de blocos rochosos dos mais variados tamanhos (Diniz & Matos, 1994). Todas estas ribeiras só levam água no tempo das chuvas, sendo nesta ocasião em verdadeiro regime torrencial (Figura 20).

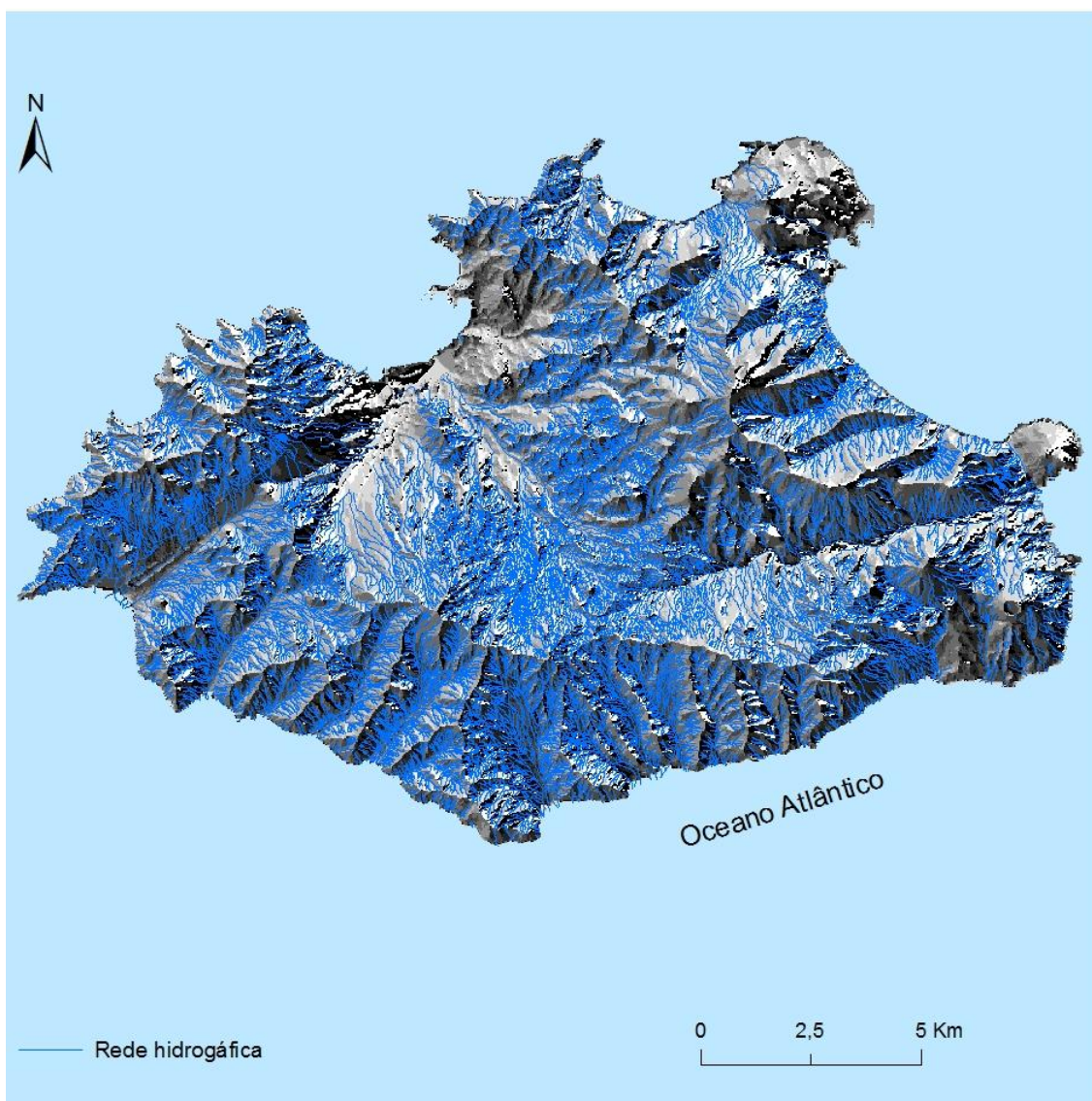


Figura 20: Rede hidrográfica da ilha de São Vicente

Para análise da hidrografia foi necessário recorrer à informação altimétrica à escala 1: 10 000, bem como ao inventário das ribeiras da mesma. O relevo está recortado por várias ribeiras, muito embora da totalidade dos cursos de água que drenam o território, apenas as principais (Rib.^a de Julião, Rib.^a de Calhau, Rib.^a Vinha, Rib.^a de São Pedro e Rib.^a do Lameirão, Rib.^a de Chã de Alecrim) foram destacadas neste estudo pela sua importância, que assumem conjuntamente com as respetivas bacias hidrográficas.

O traçado das ribeiras é predominantemente de Sul-Norte, em vales abertos com um perfil retilíneo. A Ribeira de São Pedro define um traçado para Nordeste-Sudoeste, enquanto a Ribeira de Calhau o seu traçado é no sentido Oeste-Este. O traçado é claramente condicionado pela tectónica, ou seja, pelo sistema de falhas e fraturas

existentes. A rede hidrográfica do concelho é bastante densa e hierarquizada no sector Sul, onde se encontram os declives mais acentuados e a artificialização é menor. Já o sector Norte, é pouco ramificada e em muito condicionada e alterada pela ação humana. Em suma, as ribeiras que recortam a ilha adquirem no período de verão - outono uma grande capacidade de transporte de materiais sólidos de tamanhos variados até ao mar, que lhes é atribuída pelos fatores acima descritos. No período de inverno, os leitos apresentam-se secos e revelam os materiais por si transportados.

São Vicente é recortado por várias bacias hidrográficas algumas como se pode observar pela Figura 21. As ribeiras apresentam declives que variam em média entre 5,9° e 15,7°, mas que podem atingir máximos na ordem dos 79,4°, como é o caso da Ribeira de Julião.

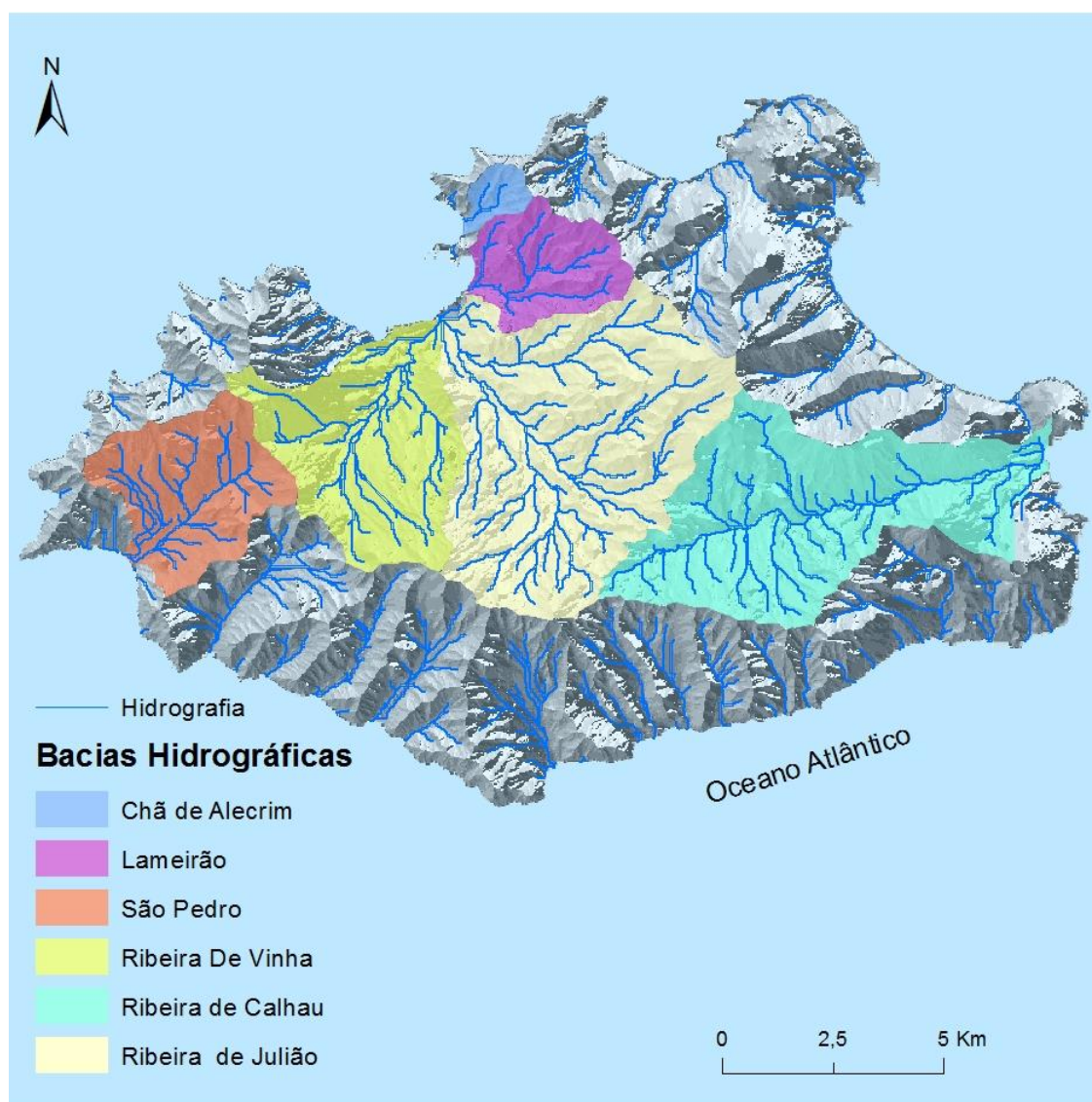


Figura 21: Bacias Hidrográficas da ilha de Vicente

Os cursos de água foram classificados de acordo com a sua hierarquia (Figura 22), na ótica de Strahler²⁵, em que da confluência de dois cursos de água com a mesma hierarquia resulta um curso de água de hierarquia imediatamente superior (a bacia tem cursos de água de ordem 1 à ordem 5).

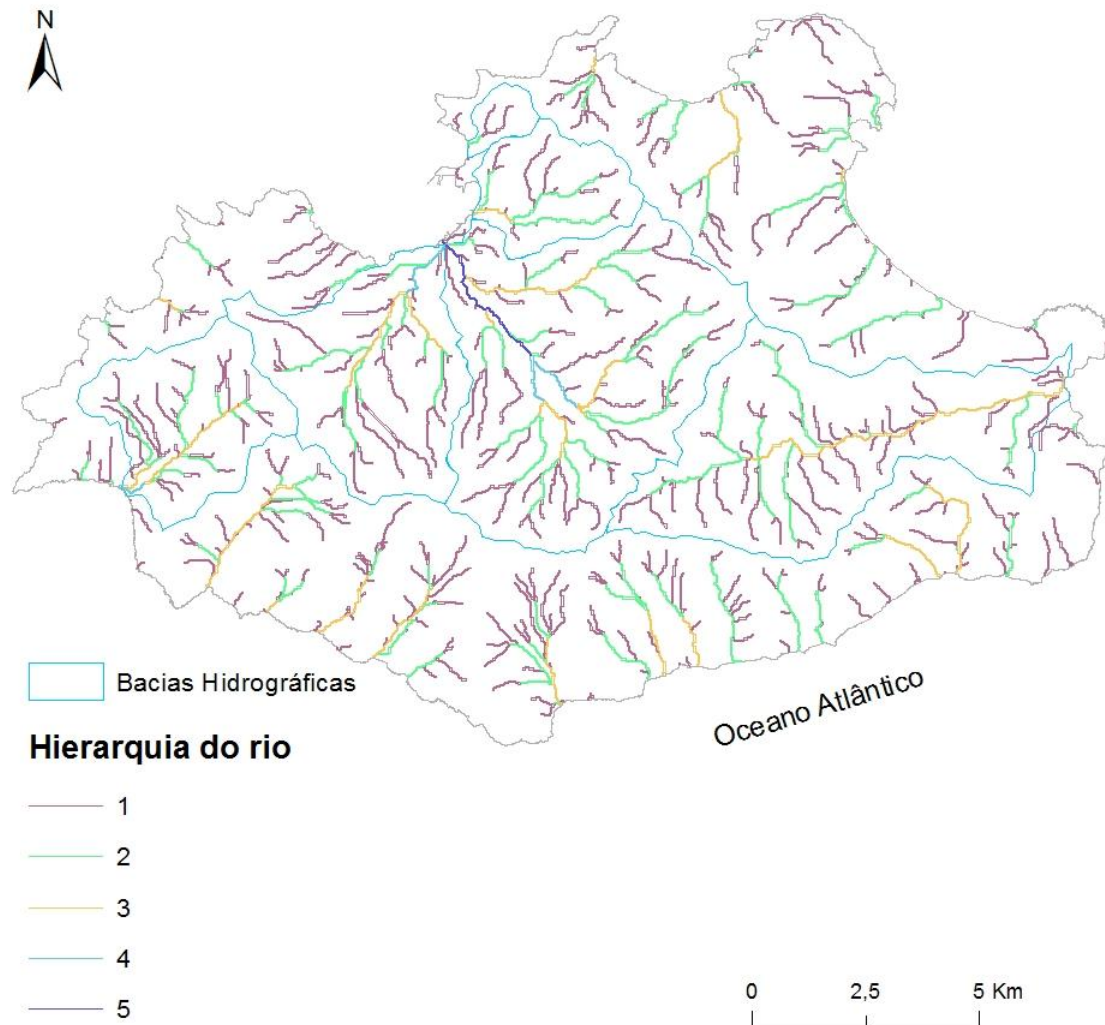


Figura 22: Hierarquia da rede de drenagem pelo método de Strahler

Na área de estudo quanto à hierarquia da rede de drenagem na perspectiva Strahler, as Ribeiras de São Pedro, Vinha, Madeiral, Palha Carga possuem ordem 4. Na confluência de Ribeira de Madeiral e palha Carga, dando origem a um curso de água de ordem superior (de ordem 5) destaca-se Ribeira de Julião. Os restantes cursos de água

²⁵ A Hierarquia de Strahler permite classificar os cursos de água por ordem de importância. Os canais de ordem 1 são aqueles que não possuem tributários, os canais de ordem 2 resultam de confluência de dois canais de ordem 1, os canais de ordem 3 advém da confluência de dois canais de ordem 2 e assim sucessivamente (Ramos, 2009).

do município surgem da confluência de cursos de água de ordem 2, dando origem a cursos de água de hierarquia superior de nível 3, que são os casos de Ribeira de Calhau e Ribeira de Lameirão onde atualmente se encontram várias habitações e infraestruturas construídas nas margens destas ribeiras e junto à sua confluência.

II. 6. Ocupação do solo

A determinação de áreas suscetíveis a cheias/inundações e movimentos de massas assume maior importância, quando está em causa a vida de pessoas ou bens materiais. Neste contexto, é fundamental conhecer a fixação da população e das suas atividades, bem como as áreas onde se localizam os bens materiais com algum valor (estratégico, económico, cultural, estético e arquitetónico) para se poder planear o território de forma mais coerente, mas sobretudo evitar a ocupação ou adensamento de áreas com elevada suscetibilidade a cheias/inundações e movimentos de massas, através da implementação de medidas e políticas preventivas.

A variável ocupação do solo foi obtida através do processamento digital de imagem *Landsat 8* para extração de informação geográfica com uma resolução de 30x30 e foi classificada em cinco classes: áreas urbanas, vegetação, solo exposto, materiais arenosos e água, com referência ao ano de 2014. Através da observação da Figura 23 verifica-se que o solo exposto (60,89%) domina no Sul da ilha.

A vegetação que representa 13,96% da ilha é dominada por acácias, que são espécies que foram introduzidas para combater a erosão e fornecer lenha, principalmente na localidade de Ribeira de Vinha e Ribeira de Julião. Enquanto nas áreas baixas, que corresponde aos vales, destaca-se os vales da Ribeira de Vinha e de Calhau, onde predominam as culturas de regadio. É de referir que, devido à qualidade da imagem de satélite não foi possível diferenciar as culturas de regadio das florestas de acácia, tendo por isso sido criada apenas a classe de vegetação.

Quanto às áreas urbanas estas ocupam 11,37% da ilha, com destaque para o sector mais a Norte onde se verifica uma densidade populacional mais elevada que corresponde à cidade do Mindelo. Em relação aos materiais arenosos, estes surgem no litoral e no fundo dos vales com 11,02% (Figura 23, Quadro 8).

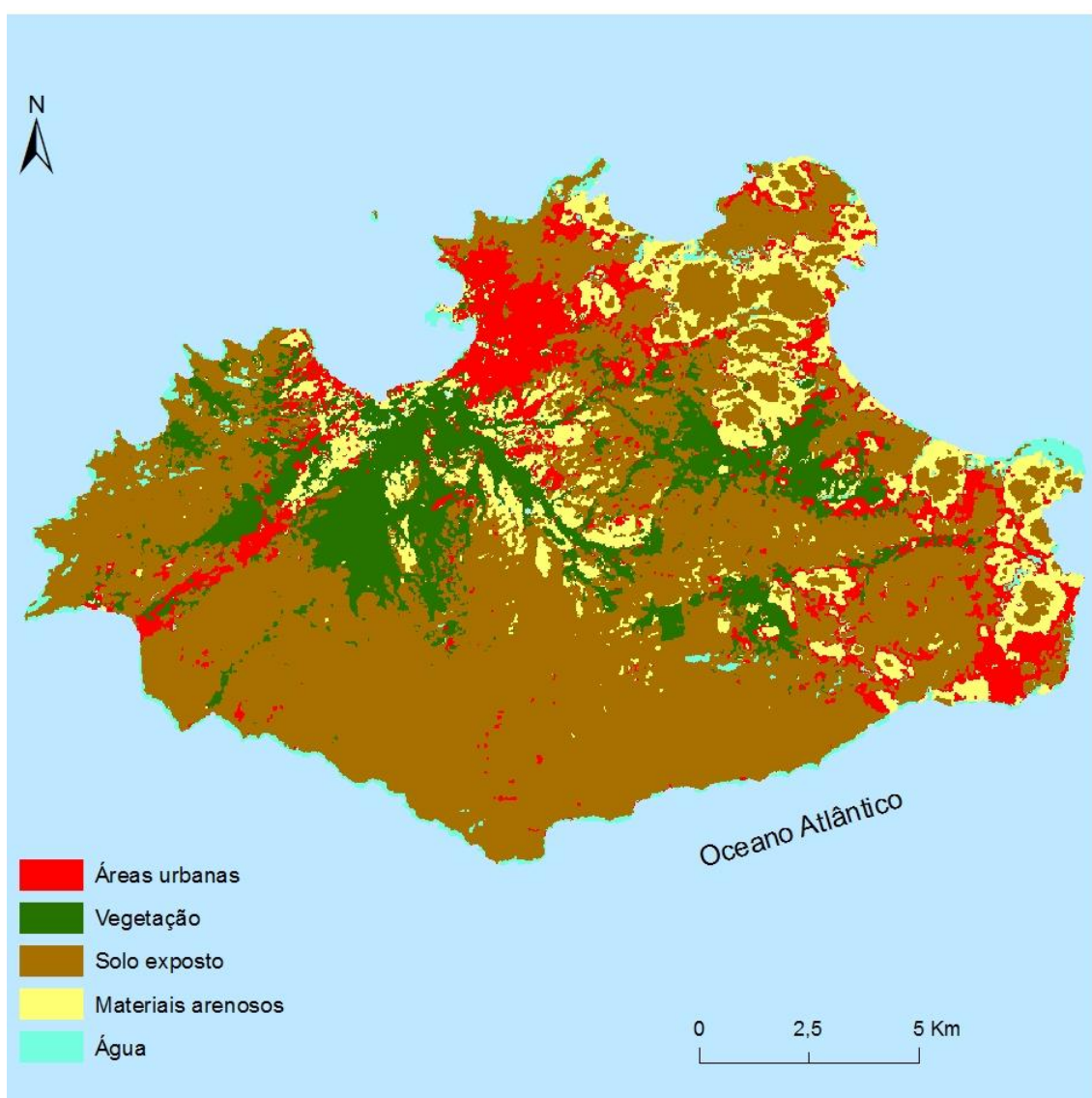


Figura 23: Ocupação do solo da ilha de São Vicente

Quadro 8: Ocupação do solo da ilha de São Vicente

Classes	Área (ha)	Área (%)
Áreas urbanas	2570,84	11,37
Solo exposto	13763,19	60,89
Vegetação	3156,115	13,96
Materiais arenosos	2490	11,02
Água	623,43	2,76
Total	22603,575	100,00

II. 7. Demografia

7.1 Evolução da população residente em São Vicente (1940-2010)

A evolução da população de uma determinada área geográfica depende do número de nascimentos vivos e o número de óbitos (crescimento natural) e da saída e de entrada de indivíduos numa região (saldo migratório).

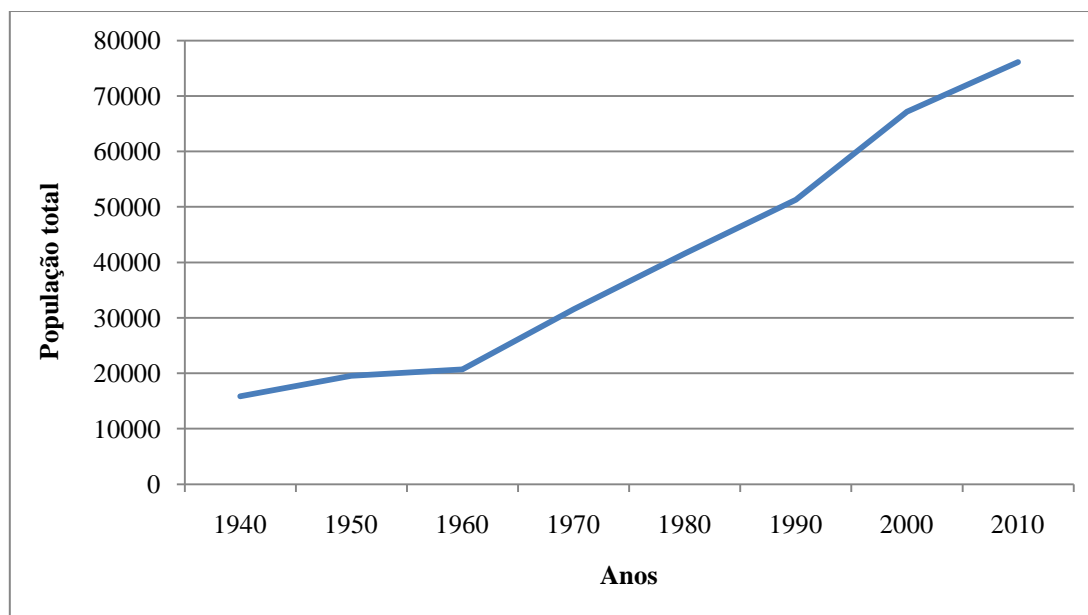


Figura 24: Evolução da população residente em São Vicente (1940- 2010). **Fonte:** Instituto Nacional de Estatística. Censo 2010

Da análise da Figura 24, pode-se constatar que a evolução da população de São Vicente caracteriza-se por um crescimento acentuado a partir da década de 90, do séc. XX, à semelhança do que se verifica nas outras ilhas do arquipélago, registando uma variação na ordem 380%, justificada também pelo crescimento da cidade do Mindelo. Entretanto, entre os anos 2000 e 2010, começou-se a verificar uma tendência de crescimento mais moderado, tendo registado um aumento na ordem dos 13,3% para a ilha de São Vicente.

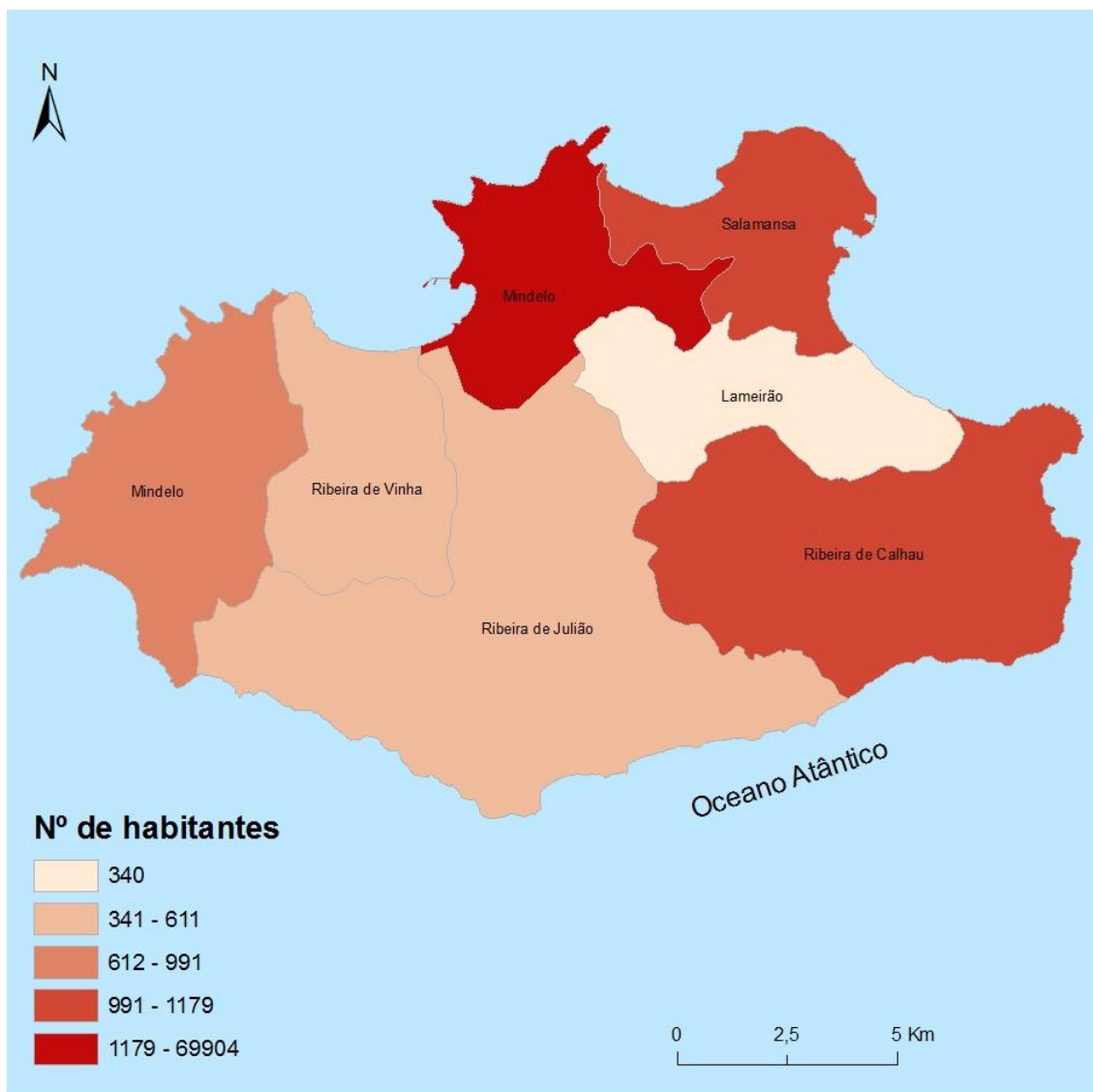


Figura 25: População residente em 2010. **Fonte:** Instituto Nacional de Estatística, Censo 2010

Relativamente à distribuição da população, esta é pouco uniforme. A cidade do Mindelo apresenta 69904 habitantes seguindo-se de Salamansa com 1457 habitantes, Ribeira de Calhau com 1177, São Pedro com 991, Ribeira de Julião com 611, Ribeira de Vinha com 504 e Lameirão com 340 (Figura 25).

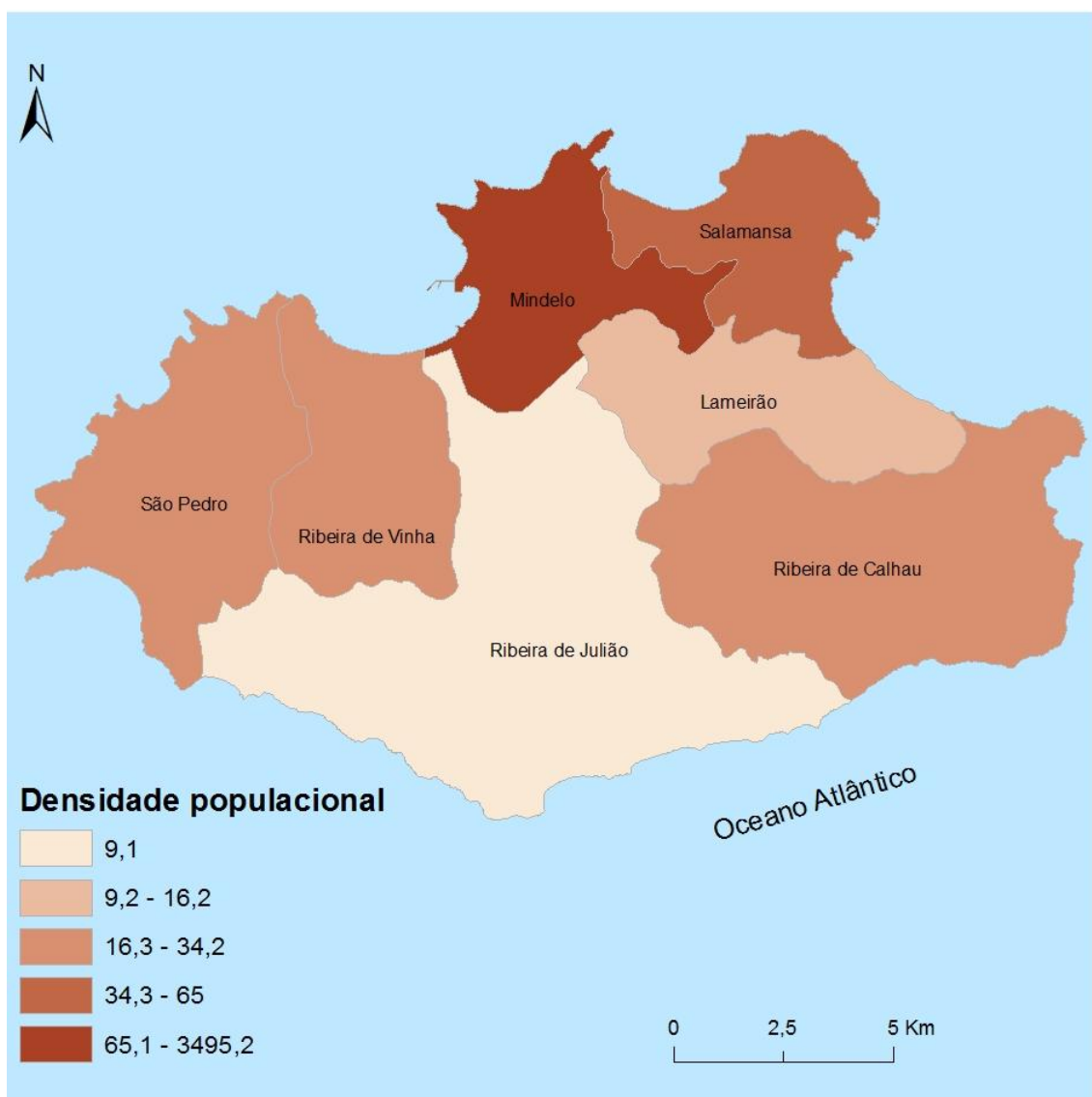


Figura 26: Densidade populacional (Hab./ km²). **Fonte:** Instituto Nacional de Estatística, Censo 2010

Com base nos Censos de 2010, a população sãovicentina totalizava 76140 habitantes numa área de 227km², o que representava uma densidade populacional de 335, 8 hab/km², mas face à dinâmica populacional e ao período de tempo entretanto passado é possível que o número de habitantes se tenha alterado (Figura 26).

II. 7.2 Estrutura da população

A estrutura da população depende de um conjunto de variáveis demográficas como a natalidade, a mortalidade e os movimentos migratórios. Por sua vez, estas variáveis são condicionadas pelos fatores naturais, ambientais, humanos e históricos. A partir da estrutura etária de um país são recolhidas informações que apoiam a tomada de decisões por parte dos governantes, no que concerne a diversas políticas, Educação, Saúde, Desporto, Habitação, entre outras.

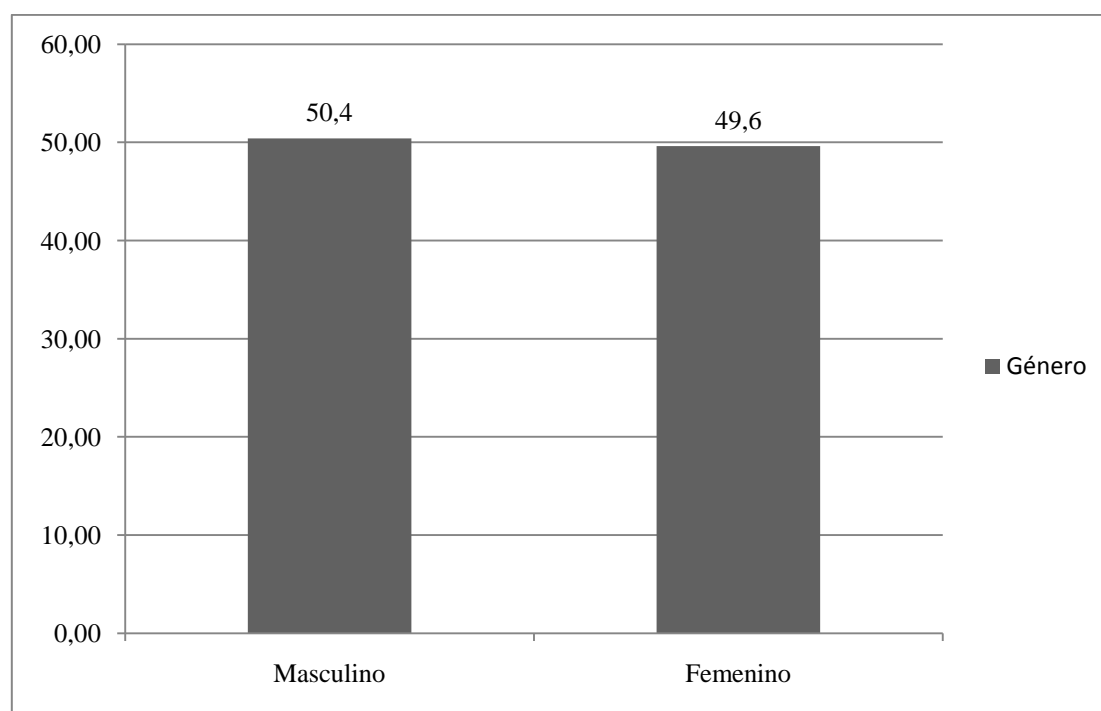


Figura 27: Distribuição dos inquiridos por Género. **Fonte:** Instituto Nacional de Estatística, Censo 2010

Para Ribeiro (1995), a análise de algumas variáveis de caracterização sociodemográfica, como a estrutura etária, o género, o nível de instrução e a composição socioprofissional são relevantes para compreender os fatores de vulnerabilidades das sociedades e grupos sociais. Quanto ao sexo tendo em conta a Figura 27, segundo os dados do Censo 50.4% são do sexo masculino e 49,6 pertencem ao sexo feminino.

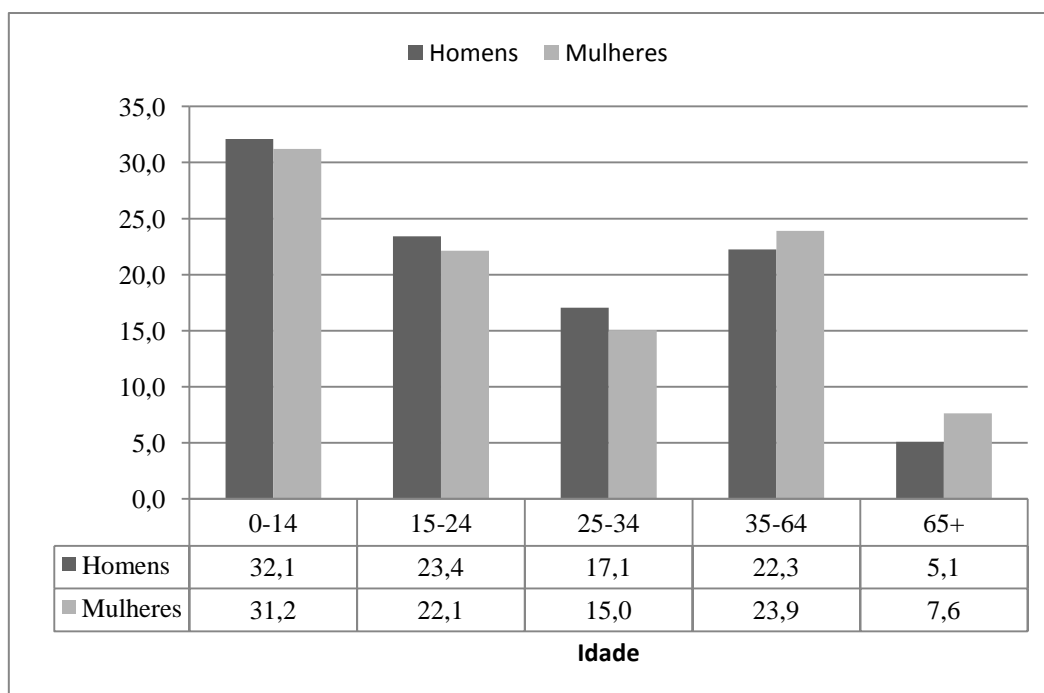


Figura 28: Distribuição por escalão etário. **Fonte:** Instituto Nacional de Estatística, Censo 2010

Da análise da Figura 28, constata-se que cerca de 31,7 % da população no ano 2010 tinha menos de 15 anos e cerca de 22,8% tinha menos de 25 anos. A população com idade igual ou superior a 65 anos é de 6,4 %. A população idosa, em comparação com mais jovem, revela uma maior preocupação e consciência do risco. Esta situação pode aumentar o seu grau de vulnerabilidade a fenómenos perigosos, em virtude da falta de conhecimento. Por outro lado, não se deve ignorar a experiência dessas pessoas em lidar com situações de cheias/inundações todos os anos. Para reforçar esta afirmação vários estudos demonstram que a experiência com episódios prévios de risco é um forte e significativo preditor do comportamento a adotar face ao perigo de cheias rápidas (Plapp e Werner, 2006; Miceli *et al.*, 2008; Terpstra, 2009).

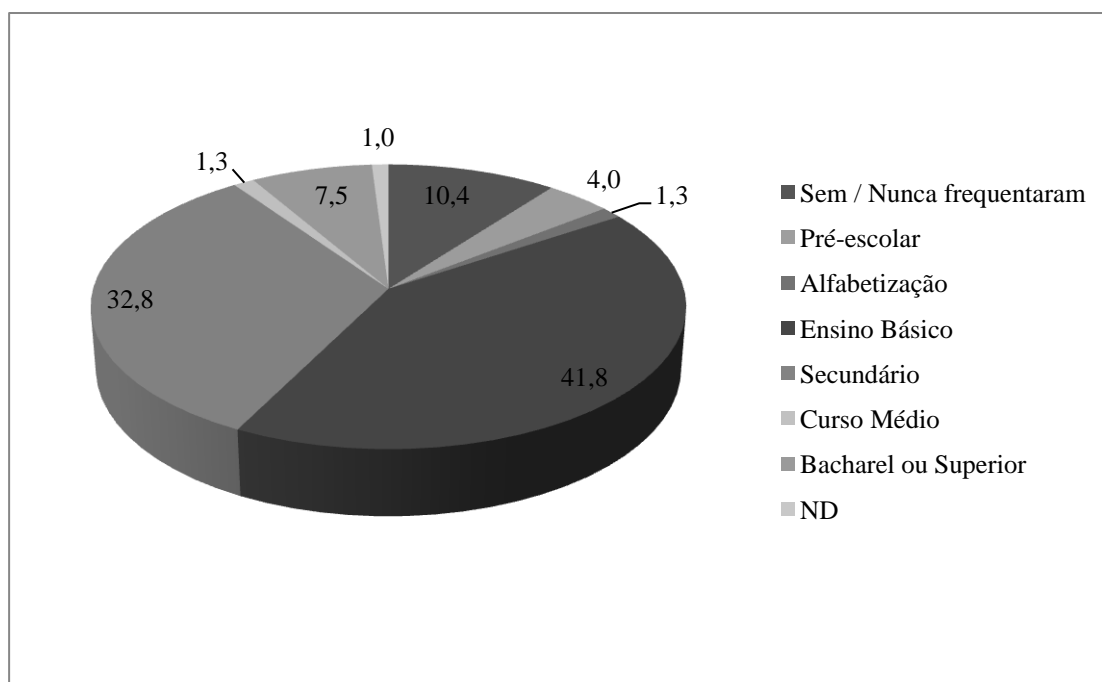


Figura 29: Distribuição por nível de instrução. **Fonte:** Instituto Nacional de Estatística, Censo 2010

Da leitura da Figura 29 verifica-se que 41,8% da população possuía o ensino básico, 32,8 % o ensino secundário. Por outro lado, 10,4 % não possui nenhum nível de instrução, ligeiramente abaixo da média nacional que se situa nos 12,5%. A experiência pessoal tem um impacto substancial no reconhecimento do risco e na consciencialização da necessidade de nos protegermos do mesmo (Burn, 1999). Por outro lado esta perceção aumenta como nível de instrução, situação esta, que pode ser justificada pelo conhecimento científico adquirido.

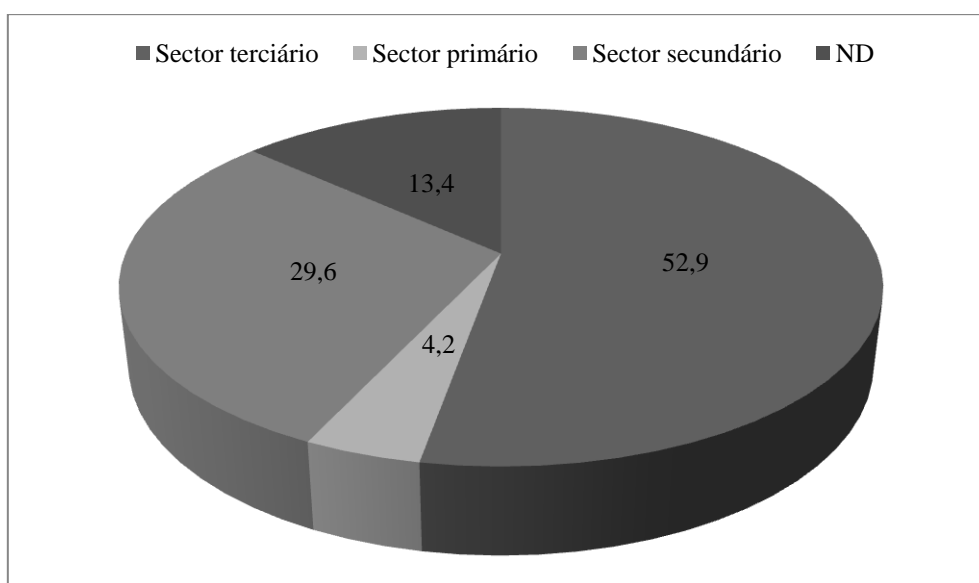


Figura 30: Sectores de atividade. **Fonte:** Instituto Nacional de Estatística, Censo 2010

A análise da população empregada, por sector de atividade define claramente o panorama económico da ilha. Segundo os dados dos últimos Censos o sector terciário, com cerca de 53%, albergava maioria dos ativos. Esta supremacia deste setor reflete o peso da cidade do Mindelo na economia regional e no aumento do consumo de bens e serviços. A taxa de desemprego era de 14,8 % acima da média nacional (10.7 %), no ano 2010 (Figura 30). O fraco poder financeiro, de alguns habitantes pode ser um dos motivos que remeteram as pessoas para áreas de risco. Esta ideia é sublinhada por Bruen e Gebre (2001), que defendem que as pessoas pobres, com poucas fontes de rendimento são mais propensas a sofrer mais com os efeitos adversos das cheias.

CAPÍTULO III – MANIFESTAÇÕES DE CHEIAS/INUNDAÇÕES E MOVIMENTOS DE MASSAS NA ILHA DE SÃO VICENTE

Os fenómenos hidrológicos extremos em Cabo Verde assumem, em regra, um carácter sazonal, uma vez que acontecem normalmente no período mais húmido do ano, ou seja, entre os meses de agosto e outubro. Estes eventos ainda podem estender-se a julho e novembro mas verificam-se com maior incidência em setembro (Lima 2012). São naturalmente as condições climatológicas, sobretudo, a frequência e intensidade das precipitações que ditam os períodos mais críticos à ocorrência de cheias e inundações. As cheias, principalmente as rápidas, advêm, em regra, de precipitações intensas ainda que confinadas a uma dimensão espaço-temporal reduzida (Ramos e Reis, 2001). As cheias, mais imprevisíveis, são também as mais perigosas e conduzem, geralmente, a pontas de cheia elevadas que afetam pequenas bacias hidrográficas e ou áreas urbanas com regime hídrico artificializado e extensas áreas impermeabilizadas (Rebelo, 1997; Portela *et al.*, 2000; Duarte *et al.*, 2005).

A magnitude e a dimensão catastrófica que estes fenómenos naturais podem assumir em São Vicente resultam, particularmente, de um desordenamento territorial que decorre, principalmente, da ocupação dos leitos de cheia, que estão secos durante a maioria do ano, por vezes durante anos, mas que enchem rapidamente quando da ocorrência de chuvas mais intensas e prolongadas. Esta ilha, principalmente na cidade do Mindelo, a partir dos anos noventa do séc. XX, entrou na fase mais crítica do seu crescimento urbano informal²⁶ (Figura 31), os bairros expandiram-se, com construções precárias, expostos a grandes perigos naturais (Morais, 2002).

²⁶ A designação informal diz respeito ao processo de construção à margem da lei da edificabilidade, ou seja, habitações que são construídas sem autorização das autoridades municipais, com total ausência de infraestruturas e equipamentos sociais.

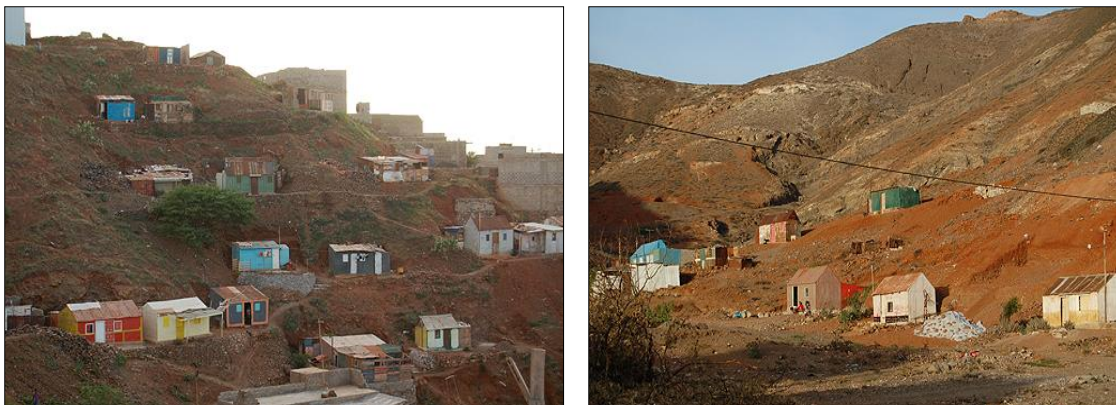


Figura 31: Habitações, na sua grande maioria clandestinas em encostas declivosas. **Fonte** <http://asemana.publ.cv> (Acedido a 7 de Maio 2015)

Esta ideia é reforçada por Martins (2010) e Costa *et al*, (2013) que defendem que o processo de construção muito acelerado é um dos principais fatores do aumento da vulnerabilidade de pessoas e bens face ao risco de cheias rápidas. Para além das habitações, muitas estradas encontram-se, também, em áreas de risco. Algumas são mesmo muito importantes para mobilidade, como é o caso da rua do Côco, via de acesso ao Hospital Batista de Sousa que em períodos de crise é uma das áreas mais afetadas (Figura 32).



Figura 32: Rotunda da Rua de Côco numa situação de crise em 2009. **Fonte:** Jason Mascarenhas.

A superfície construída, que tem vindo a aumentar, o entulhamento artificial dos leitos das ribeiras (depósitos e acumulação de terras, lixos e escombros), construções mesmo em cima e ao lado de diques de correção torrencial, e a insuficiência dos coletores pluviais, que modificam as condições da drenagem natural, interferem significativamente com a quantidade e velocidade do escoamento superficial e com o tempo de propagação das cheias (Cunha *et al*, 2012). O mesmo autor acrescenta que o desconhecimento deste tipo de dinâmica a nível do planeamento municipal, principalmente em áreas ribeirinhas, faz destes territórios áreas de potencial risco, uma vez que se tem verificado o aumento de atividades antrópicas em leitos de cheia (Figura 33). As manifestações de cheias/inundações de setembro de 2009 e setembro 2013 são alguns dos exemplos da dimensão catastrófica que estes fenómenos hidrológicos podem atingir.



Figura 33: Habitações em pleno canal de escoamento em Chã de Alecrim
Fonte: Martins (2010).

As chuvas que atingem o arquipélago de Cabo Verde, devido às suas características muito irregulares, intensas e de curta duração, o relevo acidentado da ilha, aliados aos solos praticamente desprovidos de vegetação, e uma litologia impermeável que facilitam uma maior impermeabilidade dos solos, originam correntes de escorrência de água e sedimentos nas vertentes com grandes velocidades, elevada competência e capacidade de transporte de materiais (detritos, lixo, materiais provenientes de construções, tronco de árvores) (Figura 34).



Figura 34: Depósitos de sedimentos a entrada da principal via de Chã de Alecrim 20 de Setembro de 2009. **Fonte:** Jason Mascarenhas.

III. 1. As manifestações de risco cheias/inundações

De acordo com as precipitações máximas mensais da estação de Mindelo pode-se datar as cheias/inundações na ilha de São Vicente em: setembro 1961 (101,7mm), setembro 1984 (71,1mm), setembro 1998 (102,mm), setembro 2003 (126,2mm), agosto de 2008 (108,5mm), setembro de 2009 (179,2mm), e setembro de 2010 (171,5mm). Entre as causas, as chuvas intensas estão na origem das ocorrências de cheias/inundações e movimentos de massas registadas. Do levantamento realizado nesta ilha estão representados apenas alguns no relatório com suporte fotográfico, numa tentativa de exemplificar as manifestações de cheias/inundações e movimentos de massas.

Nos dias 15, 16, 18 e 20 de setembro de 2009 altos índices de pluviosidade foram registados sobre o arquipélago de Cabo Verde, sendo as ilhas de Santo Antão, São Vicente e São Nicolau as mais afetadas pelas chuvas. Houve precipitação na ilha de Santo Antão durante quatro dias. No que diz respeito às ilhas de São Vicente e São Nicolau choveu apenas nos dias 16 e 18 de setembro. São Vicente totalizando a chuva dos dias 16 e 18 foi registado um valor de 733,2 mm precipitados, avançava o Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica de Cabo Verde (Quadro 9).

Quadro 9: Índice de pluviosidade para a ilha de São Vicente, nos dias 15, 16, 18 e 20 de Setembro de 2009. **Fonte:** INMG

Dias	São Vicente
15/09/09	0,0 mm
16/09/09	272,2 mm
18/09/09	461,0 mm
20/09/09	0,0 mm
Total	733,2 mm

A trovoadas ocorrida no período de seis dias (14 a 20 de setembro de 2009) foi registrada pelo satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) e do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). As análises sinóticas foram feitas para o dia 16 de setembro, uma vez que este apresentou trovoadas intensas sobre o arquipélago. Foram utilizadas as imagens do Satélite *Meteosat*, através do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC).

Foi observada precipitação extremamente intensa com ocorrência de trovoadas sobre Cabo Verde do dia 15 ao dia 20 de setembro de 2009, com exceção do dia 17, por falta de dados. As imagens de satélite mostraram nuvens convectivas sobre as ilhas de Santo Antão, São Vicente e São Nicolau e sobre Oeste do oceano, nuvens estas, com temperaturas no topo de até -70°C . A umidade relativa do ar manteve-se alta, até 100%, no dia 16 de setembro, já os índices de instabilidade indicaram uma atmosfera instável (Figura 35).

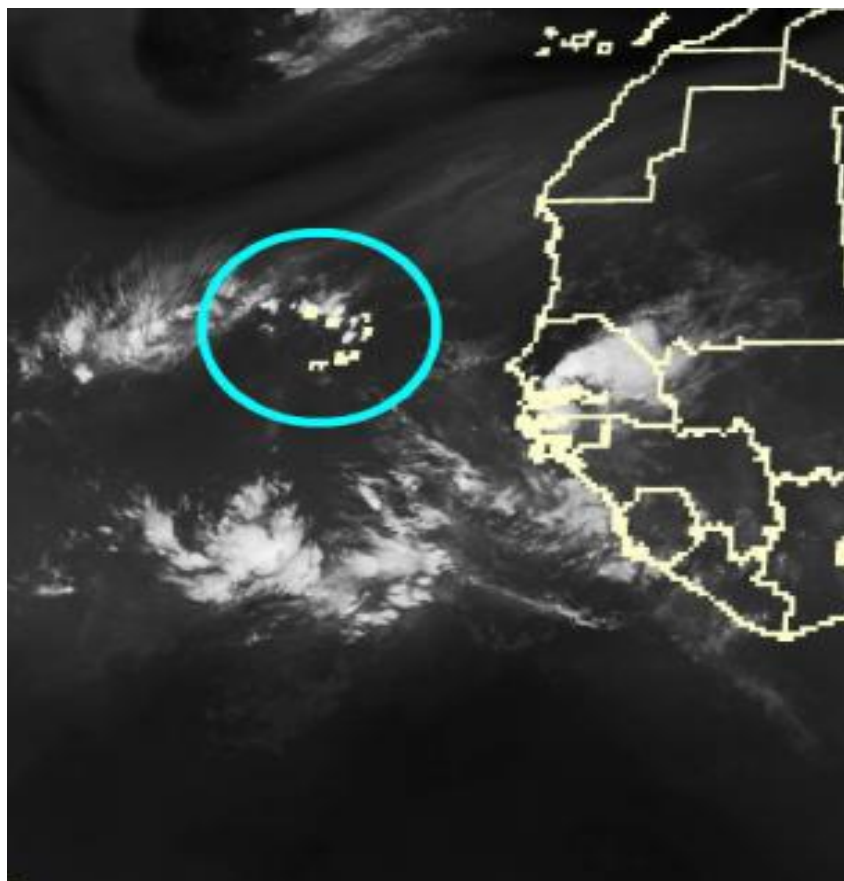


Figura 35: Carta meteorológica para o dia 16 de Setembro de 2009, às 00UTC.
Fonte: CPTEC e TRMM.

As manifestações de risco de cheia/inundação na ilha de Monte Cara têm sido frequentes, tendo já provocado episódios muito dramáticos no passado. Os curtos períodos de chuvas intensas são os fatores desencadeantes das cheias/inundações na ilha de São Vicente, que ocorrem normalmente nos meses de agosto, setembro, outubro e, por vezes, em novembro. Assim noticiava A Semana *online* de 18 de Setembro de 2009 “...S. Vicente está a viver uma situação difícil com a chuva intensa que cai desde as 14 horas de hoje, 19 Setembro. A cidade está inundada, carros submersos e casas a transbordar de água. A chuva não pára. A situação chegou a ser mesmo de pânico. Felizmente a chuva não prosseguiu com forte intensidade por muito tempo. Muitas das principais vias de acesso estão intransitáveis. Os bombeiros estão a socorrer as pessoas na medida do possível e conforme a sua capacidade de intervenção...”, “...A situação é crítica neste momento, mas ainda não se registou nenhuma vítima. O serviço dos bombeiros está a prestar socorro às populações, conforme as solicitações mais urgentes. A chuva já diminuiu de intensidade neste momento. Estamos a aguardar a

melhoria do tempo para averiguar no terreno as situações mais críticas e intervir...”, avançava o comandante dos Bombeiros de São Vicente João Barros.

Outras fontes da proteção civil asseguravam que o cenário era mais difícil nas áreas por onde passam as fortes cheias, cujo caudal de água era forte naquele momento. Foram os casos da Ribeirinha, Vila Nova/Rotunda da Ribeira Bote, Avenida de 12 setembro/Praça Estrela e centro da cidade do Mindelo (Figura 36).



Figura 36: Manifestações de inundação em 18 de Setembro de 2009 no centro da cidade e na Avenida 12 Setembro. **Fonte:** Jason Mascarenhas.

“...A Praça Estrela assemelha-se, neste momento, a um grande lago natural, pois acumula toda a água que vem das zonas altas em direção ao mar. Ali a cheia foi tão forte a ponto de destruir o asfaltado desta via, que ficou submersa. E a forte corrente da água só não levou ao mar uma viatura da empresa Armando Cunha, nas proximidades da Biblioteca Municipal, graças ao apoio de emergência de outro carro pesado de mesma empresa. A situação está pior do que ontem (sexta feira). A chuva não pára de cair, algumas casas desabaram, as ruas estão intransitáveis e a cidade está inundada, estamos preocupados com o que pode acontecer”, afirmou um morador do Mindelo à Agência Lusa...”. Na Ribeira do Calhau a quantidade de água levou a Proteção Civil ao local a retirar duas famílias, das respetivas casas, e houve moradores que garantiram que há mais de 25 anos que não viam chover com tanta intensidade como hoje. A localidade da Baía das Gatas ficou inundada e desconheciam os prejuízos, pois a chuva continuava a cair. O Serviço Municipal de Proteção Civil continuava no terreno a fazer um levantamento dos estragos. Mas numa primeira análise ao jornal A Semana do dia 19 de Setembro de 2009 o comandante dos Bombeiros Municipais, João Barros, informava que a calçada da estrada atrás da Electra (Matiota) foi arrancada.

Outra estrada danificada foi a que liga a zona de Cruz a Espia, construída recentemente (Figura 37 A e B). “...A estrada no fundo de Calhau foi cortada para abrir uma passagem de água e tivemos duas casas inundadas nesta localidade. As máquinas já iniciaram os trabalhos de limpeza e algumas pessoas, cujas casas estão em risco, foram colocadas no Centro Social de Fonte Filipe, sob os cuidados do Serviço Social da Câmara de São Vicente...”, reportava João Barros (Comandante dos Bombeiros de São Vicente).



Figura 37: A) Danos nas estradas resultantes das cheias de 2009. B) Queda de árvores na localidade de Vila Nova. **Fonte:** Jason Mascarenhas.

As cheias/inundações em São Vicente, são frequentes, mas sempre que se verificam estes eventos as pessoas e seus bens são afetados com maior ou menor gravidade. As habitações que se localizam nas áreas de risco, por vezes, são inundadas destruindo eletrodomésticos e pondo em perigo a própria vida das pessoas. Após estas considerações, pode-se concluir que a vulnerabilidade perante o risco de cheias/inundações continua significativa nesta ilha, apesar de ter diminuído ao longo do tempo com as obras de correção torrencial.

No caso da cidade do Mindelo há, portanto, fatores relacionados com a ação antrópica que se aceleram e agudizam as consequências dos processos físicos, aumentando o risco. Por outro lado, este aumento de risco tem, igualmente, a ver com a forma como as populações se expõem a estes fenómenos em análise. Infelizmente, o risco de cheias rápidas vem aumentando para uma mesma intensidade de chuvada, em função do aumento dos elementos expostos (Martins, 2010).

Os prejuízos registados a quando da forte precipitação de setembro de 2009, que felizmente, foram apenas materiais, resultam na sua maioria, devido ao mau

planeamento, habitação em áreas de risco, entre outros fatores. Deste modo está-se perante um sistema de escoamento insuficiente, muitas vezes diminuído pelas construções sobre os principais canais escoamentos ou, mesmo, pelo seu corte em determinados setores (Martins, 2010).

Apesar das repercussões destes episódios de cheias serem evidentes, ao longo do tempo elas tendem a desvanecer-se na memória coletiva, contribuindo assim para a subvalorização dos fenómenos perigosos em causa e para o acréscimo da vulnerabilidade e do risco de cheias (Quaresma, 2008).

III. 2. As manifestações de risco de movimentos de massas

As manifestações de risco de desabamentos verificam-se, principalmente, nas vertentes rochosas com fraturas, fendas e com declives acentuados, podendo ou não existir vegetação. Os desabamentos são agravados devido às intervenções antrópicas, como por exemplo, à abertura de estradas ou construções de edifícios nas vertentes. Esta situação acarreta prejuízos materiais e pode causar também perdas humanas. As estradas ao ficarem entulhadas criam muitos problemas de circulação rodoviária e de peões, podendo levar ao isolamento temporário de algumas povoações (Rebelo 2001) (Figura 38)



Figura 38. Desabamentos na localidade Ribeira Brava, ilha de São Nicolau em agosto de 2009. **Fonte:** Endy Soares

Após as chuvas verifica-se também manifestações do risco de deslizamento, devido a infiltração da água, principalmente, em materiais rochosos pouco coerentes, onde existem grandes percentagens de argilas, em que o aumento do peso e de elasticidade destas facilita o desencadeamento deste tipo de processos ao longo das vertentes. Em consequência destes movimentos de massas pode verificar-se, igualmente, a destruição de habitações que põem em risco vidas humanas. Os estragos nos postes de eletricidade e nas linhas telefónicas são outras consequências dos riscos de deslizamentos e desabamentos (Figura 39).



Figura 39: Deslizamentos de terra no interior da ilha de Santiago em novembro de 2015. **Fonte:** Sapo. cv



Figura 40: Habitações afetadas por fluxos de detritos quando das fortes de precipitações de 2009.

Fonte: Martins (2010).

Uma boa parte da população na ilha de São Vicente vive em habitações construídas em encostas declivosas (áreas de elevada suscetibilidade), o que constitui também um fator de vulnerabilidade, uma vez que estas intervenções provocam instabilidade no material rochoso o que pode levar a movimentos de massas. Para ilustrar esta ideia observa-se a Figura 41.

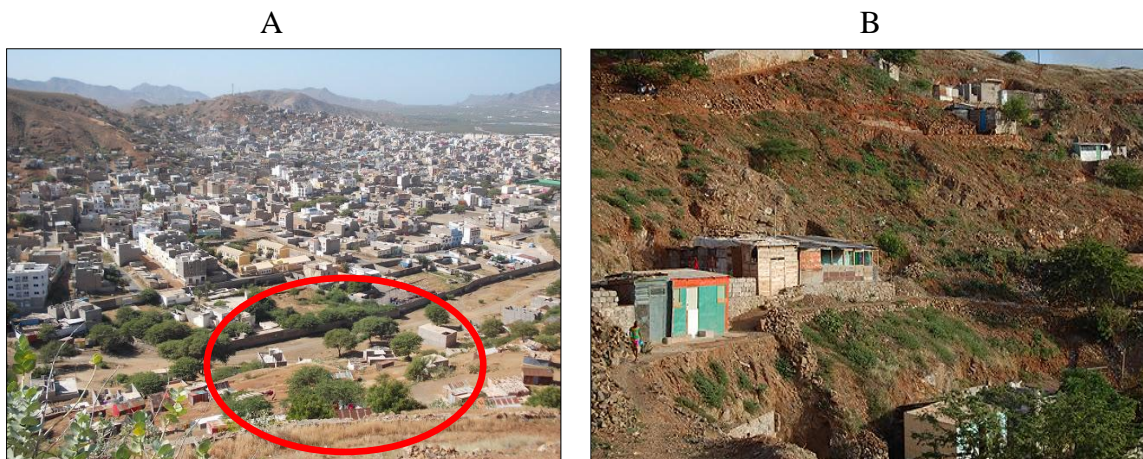


Figura 41 - Construções em áreas de elevada suscetibilidade a movimentos de massas na localidade de Fonte francês (A) e Vila Nova/Lombo Tanque (B) **Fonte:** <http://mindelosempre.blogspot.pt/2013>.

III. 3. A gestão de risco de cheias/inundações e de movimentos de massas na ilha de São Vicente.

Assim tendo em conta, as repercussões prejudiciais que estes fenómenos naturais podem causar, torna-se urgente a tomada de consciência da importância da avaliação, gestão e prevenção do risco de cheias/inundação e movimentos de massas, como o objetivo de mitigar os seus efeitos. São várias as entidades que colaboram para garantir a proteção da sociedade civil, tais como: a Câmara Municipal de São Vicente, o Centro Municipal de Operação e Emergência da Proteção Civil (CMOEPCC), a Delegação do Ministério do Ambiente e Agricultura, o Serviço Nacional da Proteção Civil (SNPC), a Delegação do Ministério da Saúde, a Cruz Vermelha de Cabo Verde, o Comando da Polícia Nacional, o Comando da 1ª Região Militar de São Vicente, as Empresas petrolíferas (Vivo Energy, ENACOL), e as Associações Comunitárias. Por outro lado, também existem entidades estrangeiras que apoiam sobretudo na minimização dos riscos, sendo as principais o Governo de Portugal, Espanha, França, Japão, China, Estados Unidos da América, entre outros.

As ações da proteção civil que são incumbidas a estas entidades em São Vicente dizem respeito aos sistemas de acompanhamento da situação meteorológica e de previsão de chuvas, desenvolvem ações de planeamento, prevenção e exercício, promovem o levantamento e inventariação dos “pontos críticos”, a avaliação dos

perigos e vulnerabilidades do município, promovem a informação e sensibilização das populações, tendo em vista a sua autoproteção face a situações de crises. Promovem também medidas preventivas destinadas à evacuação das populações, bem como asseguram as suas eventuais necessidades de alojamento, alimentação e agasalhos. As instituições envolvidas na gestão do risco ainda têm como missão a promoção da demolição, desobstrução e remoção dos destroços ou obstáculos, a fim de restabelecer a circulação e evitando perigos eminentes, proceder ao restabelecimento da normalidade, dos serviços públicos essenciais e ao abastecimento de água e energia.

Quanto à atuação das autoridades, apesar destas terem vindo a desenvolver medidas de mitigação de riscos, a população mostra uma maior satisfação por parte das instituições locais, como é o caso da Câmara Municipal, quando comparada com o Governo central, que funciona como entidade mais distante das populações e cujo trabalho é menos perceptível pela população.

III. 3.1. Projetos desenvolvido para minimizar os riscos de cheias/inundações e movimentos de massas.

No sentido de prevenir os riscos de cheias/inundações têm-se desenvolvido alguns projetos como forma de prevenção deste risco em São Vicente. Os diques de correção torrencial são exemplos de trabalhos desenvolvidos com vista à regularização dos leitos e dos caudais. Após fortes aguaceiros, a escorrência superficial das vertentes ao atingir as linhas de água origina torrentes com grande capacidade de transporte de materiais que, por vezes, provocam grandes estragos a jusante. Para reduzir a capacidade erosiva da água e aumentar a sua infiltração no solo, são construídos nas linhas de água, diques de correção torrencial, que podem ser em pedra seca ou em argamassa. Junto dos leitos das ribeiras, principais, podem encontrar-se diques com maiores dimensões para controlo das cheias, regularizando o trajeto da água, diminuindo a sua velocidade e consequentemente o seu efeito erosivo (Fortes, 1993). As próprias estradas que se localizam ao longo dos leitos das ribeiras como são os casos de estradas que fazem a ligação entre o centro da cidade e as localidades de interior acabam por desempenhar um papel importante na regularização dos leitos e dos caudais. Ainda destaca-se os canais de escoamento superficial e os coletores de águas pluviais (Monteiro, 2007) (Figura 42).

A



B



Figura 42: A) Canais de escoamento superficial na localidade de chã de Alecrim. B) Coletores pluviais na Praça Estrela. **Fonte:** Jason Mascarenhas.

Relativamente aos riscos de movimentos de massas têm sido feitos trabalhos diversos de proteção de algumas vertentes, bem como alguns muros de proteção, com o objetivo de diminuir as consequências resultantes da manifestação dos movimentos de massas. As manifestações dos movimentos de massas, quando ocorrem, provocam vários constrangimentos, por isso torna-se essencial dar uma atenção especial a estes problemas por parte das autoridades competentes.

Ainda para a estabilização das vertentes face aos movimentos de massas, como forma de prevenção, pode-se referir os muros de contenção. Fazem parte dos muros de contenção, os muros de gravidade e em betão, as cortinas de estacas e os muros ancorados. De entre os muros de gravidade, destacam-se os gabiões, que são prismas retangulares definidos numa armação de rede metálica com forma hexagonal de tripla torção galvanizada e preenchidos com fragmentos rochosos resistentes. As vantagens da sua utilização são muitas, entre as quais o facto de terem uma montagem rápida e económica, de serem de fácil adaptação à topografia do terreno, terem funções drenantes e serem duráveis e flexíveis.

A vegetação constitui uma outra técnica de estabilização de vertentes decapadas reduzindo a sua suscetibilidade à erosão hídrica e ao vento. A vegetação desempenha um papel de estabilização da superfície, através do entrelaçamento das suas raízes, diminuindo o efeito do “splash” e a velocidade do escoamento superficial. De entre as várias vantagens de utilização da vegetação como técnica de estabilização destacam-se baixos custos, capacidade de autorregeneração, atratividade em termos visuais, e a não

necessidade de equipamentos de instalação muito elaborados. No que se refere aos métodos utilizados na estabilização de movimentos de massas em vertentes, destaca-se ainda as valas de captura, as redes metálicas, as vedações, as atenuadoras e os sistemas complexos de proteção (Figura 43).

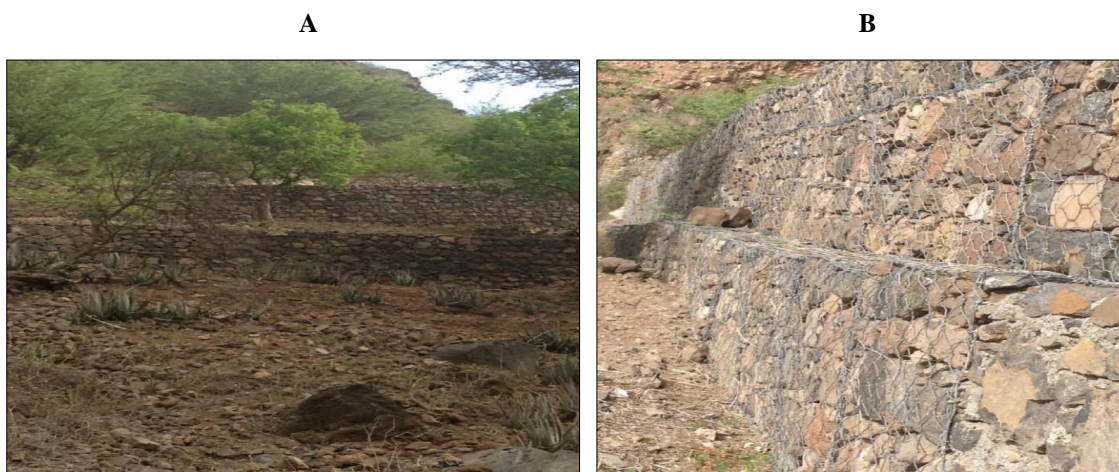


Figura 43: A) Plantação de Aloé Vera nas encostas B) Muro de contenção Fonte : Endy Soares

CAPÍTULO IV - SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E DETECÇÃO REMOTA APLICADOS AO ESTUDO DE CHEIAS/INUNDAÇÕES E MOVIMENTOS DE MASSAS

IV. 1. Importância dos sistemas de informação geográfica no apoio a decisão

O termo Sistema de Informação Geográfica é utilizado para designar um sistema de informação que contém informação georreferenciada (Matos, 2008). Estas ferramentas possibilitam aos utilizadores a integração de informação georreferenciada num sistema informático permitindo, através de ferramentas de análise, a geração de nova informação, em função das necessidades específicas dos utilizadores. Tal como outro sistema de informação, os SIG são utilizados para suportar processos de tomada de decisão. Oferecem aos decisores um ambiente integrado de diversa informação suscetível de ser localizada espacialmente. Questões como, onde está? Qual a distribuição de? O que mudou? Qual o melhor caminho? O que aconteceria se? podem ser respondidas através da utilização de um SIG (Julião, 1997). Resumidamente, o SIG é a tecnologia utilizada no processamento de informação geográfica que engloba a criação, a partilha de dados e outras funções de execução de domínio digital (Goodchild, 2000). Este sistema é sem dúvida uma das mais elaboradas ferramentas para a análise do território e de fenómenos de âmbito territorial que associa informação estatística, administrativa, e política à informação gráfica representativa do território (Julião, 2001).

Deste modo, realça-se a modelação e análise espacial como também o conhecimento ou trabalho de terreno como indispensáveis no ordenamento do território. Os levantamentos de terreno (fotografias aéreas, imagens de satélite, GPS), a várias escalas espaciais e temporais, também, são recursos de extrema relevância para estudos de cheias/inundações e movimentos de massas. No sentido de ilustrar esta ideia, Metternicht *et al* (2005) utilizaram Deteção Remota (DR) no estudo de deslizamentos de terra para analisar o contributo das Tecnologias de Informação Geográfica (TIG) para avaliação do perigo em ambientes montanhosos na Suíça. Este artigo analisa o uso da DR na análise de dados em deslizamentos de terra durante os anos 1980, 1990 e 2000, assim, este trabalho apresenta e propõe um Quadro conceptual para a contribuição da DR para o desenho de bases de dados para os riscos naturais, como fluxos de detritos.

As consequências negativas decorrentes da utilização desordenada do território podem ter repercussões comprometedoras a médio e a longo prazo, sobretudo em áreas mais sensíveis que se evidenciam a quando da ocorrência de um evento extremo. Esta ideia é defendida por Julião *et al* (2009) que menciona ser necessário incluir as tecnologias de informação geográfica no ordenamento e organização do território municipal. Estas ferramentas permitem espacializar, prever ou simular cenários, de modo a prevenir e a reduzir os efeitos ambientais sobre a sociedade. A título de exemplo Jalayer *et al*, (2014) desenvolveram uma metodologia para a avaliação e mitigação dos riscos de inundação urbana. Através do método da máxima verosimilhança determinaram as áreas inundáveis com base em perfis de inundação calculados para vários períodos de retorno para uma determinada área para a cidade de Addis Abeba, Etiópia.

Existe uma necessidade de quantificar as consequências negativas de ocorrências destes fenómenos para as infraestruturas e para os referidos aglomerados urbanos, apresentando a noção dos danos materiais e humanos. É cada vez maior a necessidade de identificar as áreas de maior perigosidade e vulnerabilidade, com o objetivo de elaborar as cartas de risco. Recentemente Sun, *et al.*, (2014) apresentaram uma metodologia para uma análise e avaliação integrada do risco inundação na província de Anhui, (China) apoiado por um SIG. O zonamento do risco de inundação e as suas vulnerabilidades foram feitos utilizando o SIG e análise espacial. Os resultados foram destinados a apoiar agências governamentais locais e nacionais em gestão de catástrofes relacionadas com a água.

A vulnerabilidade social deveria orientar os investigadores, também, para a estreita relação dos seres humanos com ordenamento do território, o que implica uma mudança de atitudes e de comportamento da sociedade civil em relação ao meio. Estudiosos como Giardino *et al* (2007) defendem que o SIG e a Deteção Remota são ferramentas fundamentais para desenvolverem estratégias funcionais de sensibilização e prevenção dos desastres naturais no sentido de atenuar os prejuízos resultantes do impacto dos fenómenos naturais perigosos. A título de exemplo a DR e o SIG foram desenvolvidos para possibilitar as análises de inundações do rio Zambesi (Moçambique), e a distribuição de inventário de movimentos de massas no Vale de Aosta, (Noroeste de Itália). A integração de tecnologias de aplicações de SIG e DR provou ser um sucesso para a gestão de desastres e emergência em vários estudos de caso, principalmente, em áreas de montanha da Europa e os países em desenvolvimento.

Norberto (2004) destaca que o recurso à tecnologia SIG procura responder, simultaneamente, às necessidades de armazenamento, manipulação e visualização de uma ampla série de dados orientados geograficamente. A partir dos anos 90, os SIG assumiram, definitivamente, uma posição de vanguarda, ocupando hoje o topo da lista de ferramentas de apoio ao tratamento de informação espacial (apud Porteiro, 2006).

Esta análise surge numa altura em que a gestão do território faz parte da atualidade na sequência da ocorrência constante de situações de seca, cheias/inundações erosão costeira, erupções vulcânicas, erosão acelerada do solo, movimentos de massas um pouco por todo o arquipélago de Cabo Verde. Os SIG constituem uma ferramenta importante em estudos de fenómenos naturais pela sua capacidade de aquisição, integração, manipulação e visualização da informação geoespacial.

Matos (2008) salienta que a modelação geográfica deve-se ao facto de a generalidade dos fenómenos serem georreferenciáveis, o que oferece um campo de aplicação vastíssimo e diversificado para um mesmo conjunto de componentes de modelação. Esta tese é frisada por Julião (2001) que sublinha que, atualmente, estes instrumentos apresentam-se difundidos pelas mais variadas áreas temáticas, destacando-se como vantagens mais importantes a capacidade de integração da componente espacial nos processos de decisão, a capacidade de articulação de diferentes fontes de informação e métodos de análise; capacidade de resposta em tempo útil.

Hoje os SIG são ferramentas muito utilizadas e em tendência crescente, devido ao forte investimento recente em *software* (comercial, *freeware* e/ou *open source*). Estes destacam-se pela sua relevância na compreensão e conhecimento dos processos relacionados com o território. Assim, a resposta a situações de emergência e a minimização do risco, é facilitado com a integração em base de dados SIG de informação, o que permite a sua análise, modelação e visualização. Esta ideia é reforçada por Cunha e Ramos (2012: 26), que destacam que “...os SIG constituem, assim, um instrumento valioso e indispensável na modelação, cartografia e análise dos componentes dos diferentes tipos de riscos naturais, favorecendo o conhecimento e caracterização de situações ou fenómenos que ocorrem espacialmente”. Os SIG são um contributo na produção das cartas de suscetibilidade, vulnerabilidade e risco.

IV. 2. SIG na caracterização das componentes biofísicas das bacias hidrográficas.

A avaliação da suscetibilidade a cheias/inundações numa determinada rede hidrográfica requer sempre o estudo de toda a bacia hidrográfica. Deste modo, torna-se imprescindível para a análise da suscetibilidade conhecer e delimitar as bacias hidrográficas que drenam São Vicente, assim como a caracterização das suas componentes biofísicas, obtendo assim um panorama geral da sua dinâmica hidrológica e a sua capacidade de responder à precipitação. Vários são os fatores que podem influenciar o escoamento numa bacia como: a geometria, a rede de drenagem, o relevo, a litologia, a vegetação e a ação humana.

IV. 2.1 A Geometria

As características geométricas das bacias hidrográficas são importantes, principalmente em pequenas bacias e tem por base o cálculo da área, do perímetro, forma e Índice de Gravelius ou Coeficiente de Compacidade, (Quadro 10). Os parâmetros escolhidos para a sua caracterização baseiam-se no trabalho de Borges *et al* (2005), relativamente à caracterização da Bacia Hidrográfica da Ribeira de Odivelas.

Quadro 10: Características geométricas das bacias hidrográficas

Bacias hidrográficas	Área (km ²)	Perímetro (km)	Comprimento (km)	Fator forma (Horton)	Índice Gravelius
Calhau	28	31	11	0,48	1,64
Vinha	18	21	8	0,50	1,38
Julião	35	28	7,4	0,79	1,32
São Pedro	12	16	4	0,86	1,29
Lameirão	7	12	4	0,66	1,27
Alecrim	1,5	5	1,7	0,88	1,16

Os indicadores de forma são importantes para eliminar a subjetividade da descrição qualitativa, já que permitem comparar diferentes bacias através de relações entre a sua área, perímetro ou comprimento. Quanto mais circular for uma bacia hidrográfica, maior a sua tendência para gerar grandes cheias (Ramos, 2009). O Fator

Forma de Horton compara a área da bacia (A) com o seu comprimento (cb^2) e varia entre 0,1 (bacia alongada) e 0,9 (bacia arredondada). O Fator Forma de Horton é calculado através da seguinte equação:

$$EF = \frac{A}{cb^2} \quad (\text{eq. 1})$$

Numa mesma região climática, as bacias com áreas distintas produzem escoamentos diferentes, estes serão mais elevados quanto maior forem estas áreas. No entanto, a forma da bacia vai provocar comportamentos desiguais, ou seja, no caso de se tratar de uma bacia com forma estreita e alongada, terá um tipo de comportamento diferente de uma bacia circular. Este facto é importante sobretudo nas situações de cheia, aumentando muito os caudais de ponta e tornando, por isso, as bacias circulares mais perigosas do que as alongadas.

A título comparativo e como se pode verificar no Quadro 13 a bacia hidrográfica da Ribeira de Calhau tem uma área de 28km² e um perímetro de 31 km, enquanto a bacia hidrográfica da Ribeira de Chã de Alecrim tem apenas 1,5 km² de área e 5 km de perímetro. A bacia hidrográfica da Ribeira do Calhau aproxima-se da forma alongada, o que se comprova pelos valores encontrados no cálculo do Fator Forma de Horton de 0,48, a bacia hidrográfica da Ribeira de Chã de Alecrim apresenta um Fator Forma de 0,88 o que testemunha a forma arredondada.

A bacia hidrográfica da Ribeira de Calhau é mais alongada relativamente à bacia hidrográfica da Ribeira de Alecrim, pelo que se se ponderar apenas o fator forma, a tendência para originar grandes cheias é maior na bacia da Chã Alecrim.

O Índice de Gravelius ou Coeficiente de Compacidade é muito utilizado em hidrologia e compara a área da bacia (A) com o seu perímetro (P). Um coeficiente de compacidade igual à unidade (1) revela uma bacia completamente circular, quanto mais se afasta deste valor, mais se aproxima da forma alongada. Considera-se compacta uma bacia em que $Kc < 1,6$. Este índice é representado pela seguinte equação:

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{eq. 2})$$

Em igualdade dos restantes fatores, a tendência para grandes cheias será tanto mais acentuada quanto mais próximo da unidade for o valor deste coeficiente. Em relação a bacia da Ribeira de Calhau com um Coeficiente de Compacidade de 1,64 e a bacia de Chã de Alecrim com 1,16 prova que a tendência para grandes cheias é maior na bacia da Ribeira de Chã de Alecrim.

IV. 2.2 A Rede de Drenagem

A densidade da rede de drenagem numa bacia hidrográfica é um fator determinante para avaliar a frequência de caudais de ponta de cheia, na medida em que uma bacia bem drenada com uma inclinação elevada acelera o escoamento da água e, por isso, é mais favorável à ocorrência de cheias (Ramos, 2009). A rede de drenagem é caracterizada pela hierarquia de Strahler, pela magnitude de Shreve, pelo comprimento do curso de água principal, pela densidade hidrográfica e pela densidade de drenagem (Quadro 11).

Quadro 11: Rede de drenagem das bacias hidrográficas da ilha de São Vicente

Bacias Hidrográficas	Hierarquia (Strahler)	Magnitude (Shreve)	Comprimento do curso de água principal (km)	Densidade hidrográfica (cursos água /km ²)	Densidade de drenagem (km/km ²)
Calhau	3	39	21	1,39	4,71
Vinha	4	35	4	2,32	5,38
Julião	5	64	9	1,82	5,68
São Pedro	4	29	3	2	6,08
Lameirão	3	14	2	2,41	4,71
Alecrim	2	3	1	1,5	3

Como já foi referido anteriormente A hierarquia de Strahler permite classificar os cursos de água por ordem de importância. A magnitude de Shreve resulta do somatório de todos os canais de ordem 1 que drenam a montante de determinado sector, ou seja, a magnitude dum curso de água é igual ao número de cabeceiras tributárias. O escoamento numa bacia hidrográfica é tanto maior quanto maior o número de cursos de água existentes.

Na caracterização da rede de drenagem é importante calcular o comprimento do curso de água principal que é a distância (em km) medida entre a sua cabeceira e a sua desembocadura.

A densidade hidrográfica (D_n) é a razão entre o número de cursos de água (N) e área da bacia hidrográfica (A) expressa em km^2 . (n° de cursos de água/ km^2), em que N é o número total de cursos de água existentes na bacia e A é a área da bacia. A densidade hidrográfica garante a comparação entre bacias hidrográficas de diferentes tamanhos através da ponderação do número de cursos de água pela área da bacia (Ramos, 2005). É determinada através da seguinte equação:

$$D_n = \frac{N}{A} \quad (\text{eq. 3})$$

A densidade de drenagem, $D_d = C_t / A$ (km / km^2), em que C_t é o comprimento total dos cursos de água da bacia (em km) e A é a área da bacia (em). A D_d fornece uma indicação da eficiência da drenagem natural das bacias, sendo estas tanto mais bem drenadas quanto maior for a D_d . Em igualdade dos restantes fatores, as bacias com maior densidade de drenagem tenderão a estar mais sujeitas a cheias do que as bacias com menor densidade de drenagem.

$$D_d = \frac{C_t}{A} \quad (\text{eq. 4})$$

A densidade de drenagem numa bacia hidrográfica é um parâmetro muito dependente da permeabilidade do substrato geológico, por isso é um indicador quantitativo importante na caracterização hidrogeológica das bacias hidrográficas. Quanto maior a densidade de drenagem, menor a infiltração, maior o escoamento superficial e por isso maior a probabilidade da bacia de gerar caudais de ponta elevados.

Para Ramos (2009), uma densidade de drenagem inferior a 5 km/km^2 revela uma bacia mal drenada, enquanto as bacias bem drenadas apresentam densidades superiores a 7 km/km^2 .

Na bacia hidrográfica da Ribeira de Chã de Alecrim foi calculada uma densidade hídrica de 1,5 cursos de água /km e uma densidade de drenagem de $4,71\text{ km/km}^2$, enquanto na bacia hidrográfica de Ribeira de Calhau a densidade hídrica é 1,39 cursos de água/km² e uma densidade de drenagem de 3 km/km^2 . Ambas as bacias hidrográficas apresentam valores baixos nestes parâmetros, os cursos de água são curtos e pouco numerosos, sendo por isso consideradas bacias mal drenadas, comprovando a elevada permeabilidade da litologia que caracteriza estas duas bacias.

As bacias de Ribeira de Julião com uma densidade hidrográfica de 1,8 cursos de água/km² e uma densidade de drenagem de $5,68\text{ km/km}^2$ e a bacia hidrográfica de Ribeira de São Pedro com uma densidade hidrográfica de 2 cursos de água/km² e uma densidade de drenagem de 6,08 são melhores drenadas no conjunto da ilha.

IV. 2.3 O Relevo

O relevo é um fator importante que influencia o clima à escalas regional e local, o que por sua vez se reflete diretamente no escoamento de uma bacia. À medida que se sobe em altitude, aumenta a quantidade de precipitação, levando ao aumento da entrada de água numa bacia, ou então, à sua retenção sob a forma de neve ou gelo, têm-se como exemplo o Monte Verde.

O declive é, também, uma componente muito importante, pois interfere na velocidade de escoamento e na infiltração. Por isso, quanto maior o declive maior será a velocidade de escoamento e menor a infiltração. Outro elemento determinante é a exposição de vertentes, visto que, por exemplo, uma vertente exposta aos fluxos das massas de ar carregadas de humidade, vindas do oceano, está sujeita a um escoamento maior do que outra bacia situada na vertente sul abrigada das massas de ar húmidas.

O declive é também importante na intensidade da erosão hídrica e fluvial, uma vez que as vertentes e cursos de água mais inclinados levam ao aumento da erosão e por conseguinte da carga sólida, acentuando por isso o efeito das cheias. O relevo das bacias hidrográficas foi avaliado com base nos cálculos das altitudes máximas e mínimas, da amplitude altimétrica, da relação de relevo de Shumm, do Índice de Relevo de Roche e da inclinação do curso de água principal (Quadro 12).

Quadro 12: Características topográficas das bacias hidrográficas da ilha de São Vicente

Bacias Hidrográficas	Altitude máxima (m)	Altitude mínima (m)	Amplitude altimétrica (m)	Relação de relevo (Shumm)	Índice de Declives de Roche (m/km)	Inclinação do rio principal (m/km)
Calhau	670	1	669	0,06	0,03	4,29
Vinha	517	0	517	0,08	0,12	1,25
Julião	740	0	740	0,1	0,10	3,3
São Pedro	545	1	544	0,13	0,27	2
Lameirão	284	0	284	0,09	0,14	3,5
Alecrim	300	2	288	0,17	0,29	10

A relação de Relevô de Shumm (R_r) relaciona a amplitude altimétrica da bacia (D) com o seu comprimento (cb), medido paralelamente ao curso de água principal (Ramos, 2009), ambos medidos em metros e tendo por base a equação:

$$R_r = \frac{D}{cb} \quad (\text{eq. 5})$$

O Índice de Declive de Roche considera toda a área da bacia, entre a cota mais elevada (AM) e a mais baixa (Am), medidas em metros e o comprimento do retângulo equivalente da bacia (Le) medido em km. O retângulo equivalente é um retângulo de área e perímetros iguais aos da bacia. A seguinte equação representa o Índice de Declive de Roche (IdR): $IdR = AM - Am/Le$.

$$IdR = \frac{AM - Am}{Le} \quad (\text{eq. 6})$$

A inclinação do rio principal (IRp) é calculada através da relação entre o seu comprimento (CRp), medido em km e a diferença altimétrica entre a sua cabeceira e a sua desembocadura (Aa), medida em metros. A inclinação do rio principal pode ser medida em m/km ou em % (as unidades devem estar em metros e o resultado final ser multiplicado por 100). A equação (X) permite apurar a inclinação do rio principal:

$$IRp = \frac{Aa}{CRp} \quad (\text{eq. 7})$$

A bacia de Ribeira de Julião apresenta a maior altitude de 721 m e sendo também a que apresenta maior amplitude altimétrica. Por seu lado, a bacia de Ribeira de

Lameirão é a que apresenta menor altitude 284 m. Em posições intermédias encontram-se as bacias de Ribeira de Calhau com 670m, Ribeira de São Pedro com 544m, Ribeira de Vinha com 517m, e Ribeira de Chã de Alecrim com 421 m de altitude.

Ao analisar os valores afetos a inclinação das bacias hidrográficas, verifica-se que a Relação de Relevo é elevada em ambas as bacias, o que favorece o escoamento. No que se refere ao Índice de Roche ela é maior na bacia hidrográfica de Chã de Alecrim que é de 0,29 m/Km, enquanto a bacia hidrográfica da Ribeira de Calhau apresenta um índice mais baixo de 0,03m/km.

As bacias das Ribeiras de Julião, Calhau e Lameirão apresentam desníveis consideráveis e também inclinações dos cursos de água principais mais acentuados. Este facto é responsável pela maior velocidade do escoamento ao longo destas bacias e por isso a maior probabilidade de cheias, principalmente nos seus setores jusantes.

IV. 2.4 Tempo de concentração e tempo de resposta

De acordo com Reis (1996) o tempo de concentração (T_c) é definido como o tempo que a água necessita para atingir a desembocadura da bacia hidrográfica desde o seu ponto mais afastado, ou seja, o tempo necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento na sua secção de referência. Uma das fórmulas mais utilizadas para o cálculo do tempo de concentração e com bons resultados nas bacias hidrográficas portuguesas é a Fórmula de Temez, em que o Tempo de Concentração (T_c) em horas conjuga o comprimento do rio principal (CR_p) em km e a sua inclinação média em km/km, através da seguinte fórmula: (Quadro 13).

$$T_c = 0,3x \left(\frac{CR_p}{IR_p^{0,25}} \right)^{0,76} \quad (\text{eq. 8})$$

O Tempo de resposta (T_r) corresponde ao tempo que a bacia leva a responder à precipitação útil responsável pela ponta de cheia (Reis, 1996). Expressa através da seguinte fórmula.

$$Tr = 0,6xTc \quad (\text{eq. 9})$$

Quadro 13: Tempo de Concentração e Tempo de Resposta nas bacias hidrográficas da ilha de São Vicente

Bacias Hidrográficas	Tempo de concentração (Temez)	Tempo de resposta
Calhau	8h 44	5h 06
Vinha	3h 08	1h 85
Julião	4h 86	2h 91
S. Pedro	2h 62	1h 35
Lameirão	1h 53	0h 45
Alecrim	0h 72	0h 43

As bacias que drenam São Vicente possuem tempos de concentração muito curtos com exceção da bacia da Ribeira de Calhau, devido às suas pequenas áreas de drenagem e ao declive relativamente acentuado. Todas elas são, por isso, propícias à manifestação de cheias rápidas. A bacia da Ribeira do Lameirão e de Chã de Alecrim respondem, mesmo, num curto período de tempo, representando maior perigo na formação deste tipo de cheia/inundações para a cidade do Mindelo.

IV. 2.5 Litologia

No estudo das cheias/inundações, litologia é um dos fatores importantes a ter em atenção uma vez que influencia o escoamento superficial, as pontas de cheia e os fenómenos de erosão hídrica, através dos litofácies, da estrutura e da rede de falhas e fraturas que possam existir ao longo das bacias hidrográficas (Ramos, 2009).

Assim sendo, a permeabilidade da zona vadosa foi determinada tendo em conta a litologia e a ocupação do solo com base no estudo de *Ramos et al.*, (2010). Os valores variam entre um (1) para formações de muito baixa permeabilidade e nove (9) para formações extremamente permeáveis (Quadro 14).

Quadro 14: Índices de permeabilidade atribuídos por cada classe de litologia

Código	Geologia	Índice
A	Vale de preenchimento aluvial (areia e cascalho),	9
Af	Leque aluvial (fanglomerado, conglomerado)	3
Az	Zonas de alteração	3
Bc	Brecha eruptiva	3
Bn	Fluxos basálticos, nefelíticos e piroclastos	2
C	Sedimentos costeiros (areia, cascalho, pedregulho)	8
Cc	Cinzas do cone complexam, indiferenciado (piroclastos e lava)	4
Ccl	Cinzas do cone complexam, lava basáltica	5
Pc	Piroclastos novos (piroclastos coloridos), plistoceno	6
Ph	Fonolite	3
S	Cobertura de areia, duna	8
T	Talude, terraço aluvial (detritos, cascalho, areia)	7
Vc	Complexo central vulcânico (gabro, sienite e brechas vulcânicas)	1

As bacias hidrográficas da ilha de São Vicente assentam sobre formações vulcânicas como gabro, sienite, brechas basálticas, piroclastos. A constituição destas formações confere-lhes uma permeabilidade moderada a baixa, obstruindo a infiltração da água no subsolo, o que possibilita um aumento do escoamento superficial. Os detritos sedimentares (areia, cascalho) com uma permeabilidade elevada, têm pouca expressão no escoamento das águas superficiais, pela reduzida área que ocupam no contexto das áreas das bacias. (Figuras 44 e 45).

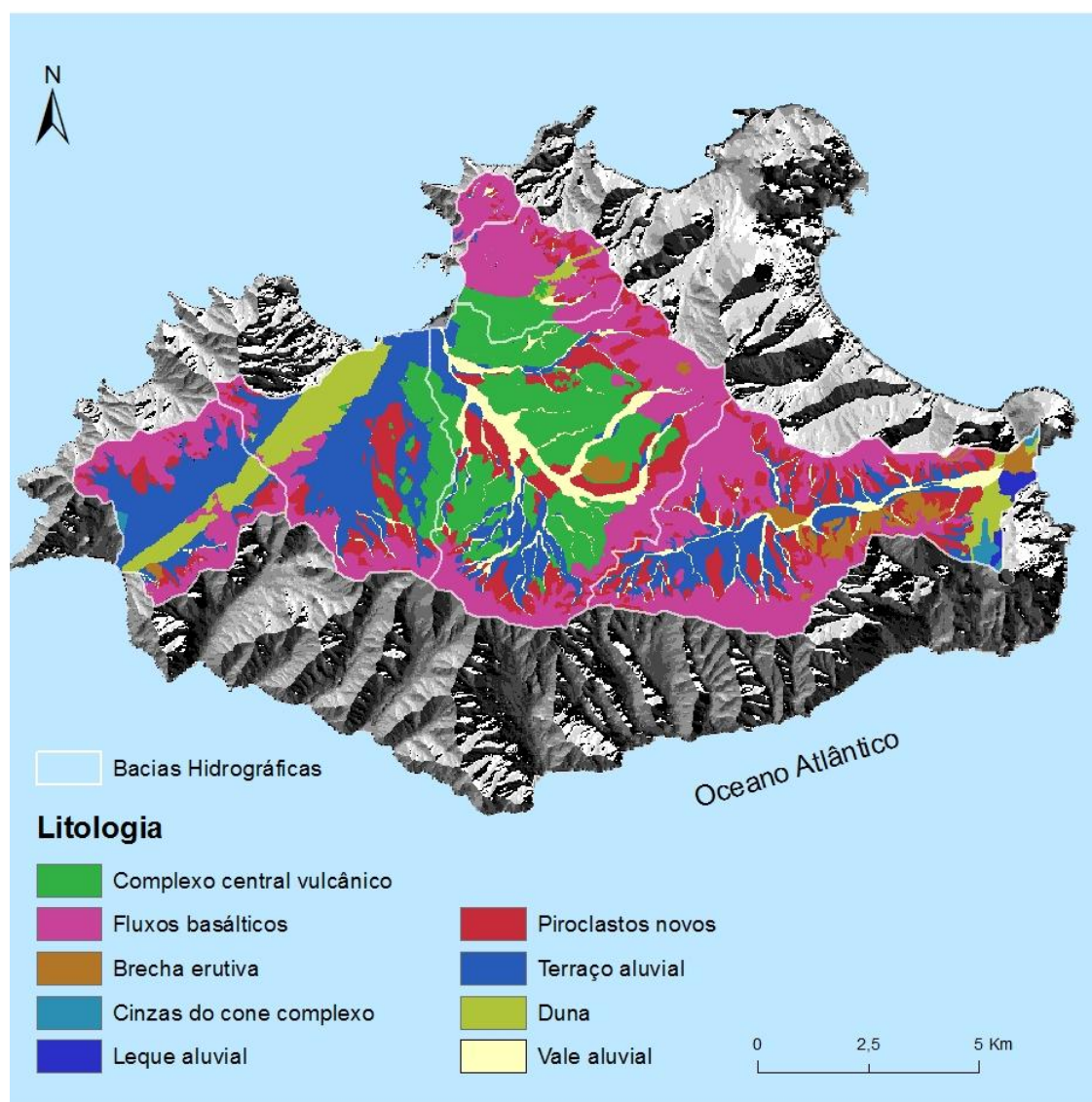


Figura 44: Unidades litológicas das bacias hidrográficas da ilha de São vicente

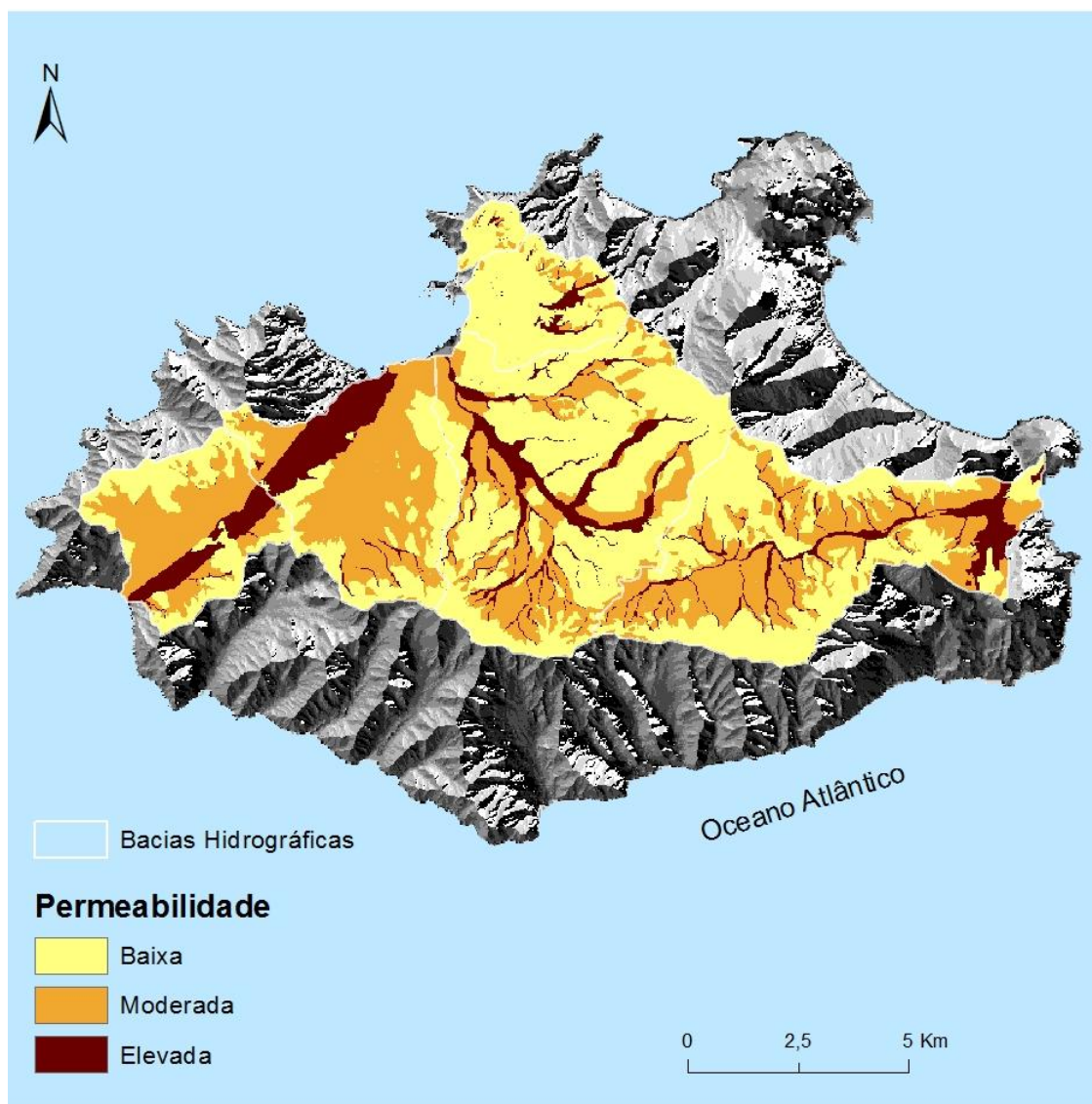


Figura 45: Permeabilidade das unidades litológicas da ilha de São Vicente

Quanto às classes de ocupação do solo (Figura 46) e considerando que a área impermeabilizada é reduzida relativamente à área das bacias considerou-se apenas a atribuição do valor 0 para áreas totalmente impermeabilizadas (áreas urbanas) e o valor 1 para áreas permeáveis (materiais arenosos, vegetação e solo exposto). No Quadro 15 apresentam-se os índices de permeabilidade por cada classe de ocupação do solo.

A determinação da permeabilidade em cada célula resulta da atribuição e multiplicação dos índices de cada classe de geologia e de cada classe de ocupação do solo.

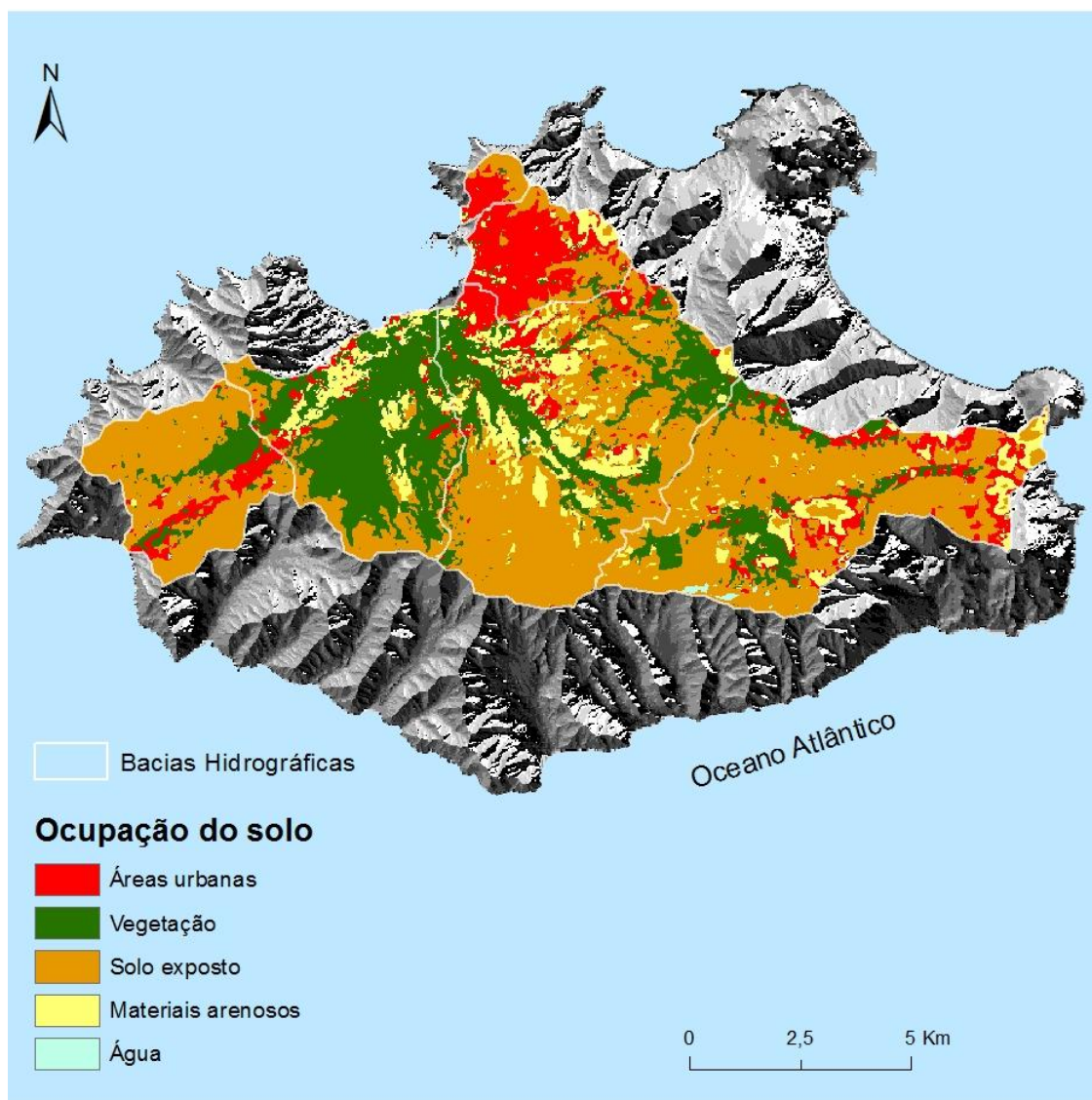


Figura 46: Ocupação do solo das bacias hidrográficas

Quadro 15: Índice de permeabilidade por cada classe de ocupação do solo (escala de 0 a 1)

Ocupação do solo	Índice
Áreas urbanas	0
Vegetação	1
Materiais arenosos	1
Solo exposto	1
Água	1

IV. 2.6 A ação humana

A ação humana constitui um dos fatores mais importantes que tem vindo a influenciar, de forma crescente, o funcionamento dos sistemas fluviais, não só devido às alterações do uso do solo, nomeadamente no processo de urbanização, mas também pela desflorestação, construção de diques e barragens entre outros. Todas estas intervenções têm consequências negativas para o funcionamento natural das bacias hidrográficas, mas a urbanização contribui para o agravamento da magnitude dos picos de escoamento, aumento da frequência das cheias e diminuição dos tempos de concentração das bacias hidrográficas (Ramos, 2009).

IV. 3. Análise da suscetibilidade de cheias/inundações por bacias da ilha de São Vicente.

Com base no Modelo Digital do Terreno (MDT) calculou-se os parâmetros de declive e área acumulada. Assim utilizou-se a ferramenta *Flow Direction* do separador de *Hydrology* do *ArcGis 10.2*, para determinar a direção do escoamento e que foi corrigida nas áreas deprimidas através da ferramenta *Fill*.

Para elaboração do mapa de suscetibilidade de cheias/inundações para as bacias da ilha de São Vicente usou-se o método de análise multicritério, assente na conjugação de três fatores, considerados constantes no tempo: a área de drenagem acumulada em cada ponto da bacia hidrográfica, o declive médio da área de drenagem e o valor médio da permeabilidade relativa dessa área de drenagem (Reis, 2011).

A área de drenagem média fornece uma indicação do volume potencial de água em cada célula, com uma concentração muito forte nos fundos de vale, a permeabilidade dá a noção das células que efetivamente contribuem para o escoamento superficial e aquelas que retêm a água temporariamente na bacia hidrográfica. Já o declive médio representa a velocidade do escoamento da água (Ramos *et al*, 2009). Estes três fatores foram ponderados (entre 0 e 100), tendo sido atribuídas percentagens diferentes a cada um, permeabilidade 40%, declive e área de drenagem acumulada 30% cada. A elaboração do mapa de suscetibilidade às cheias/inundações foi realizado através do *raster calculator* do *Arcgis 10.2*.

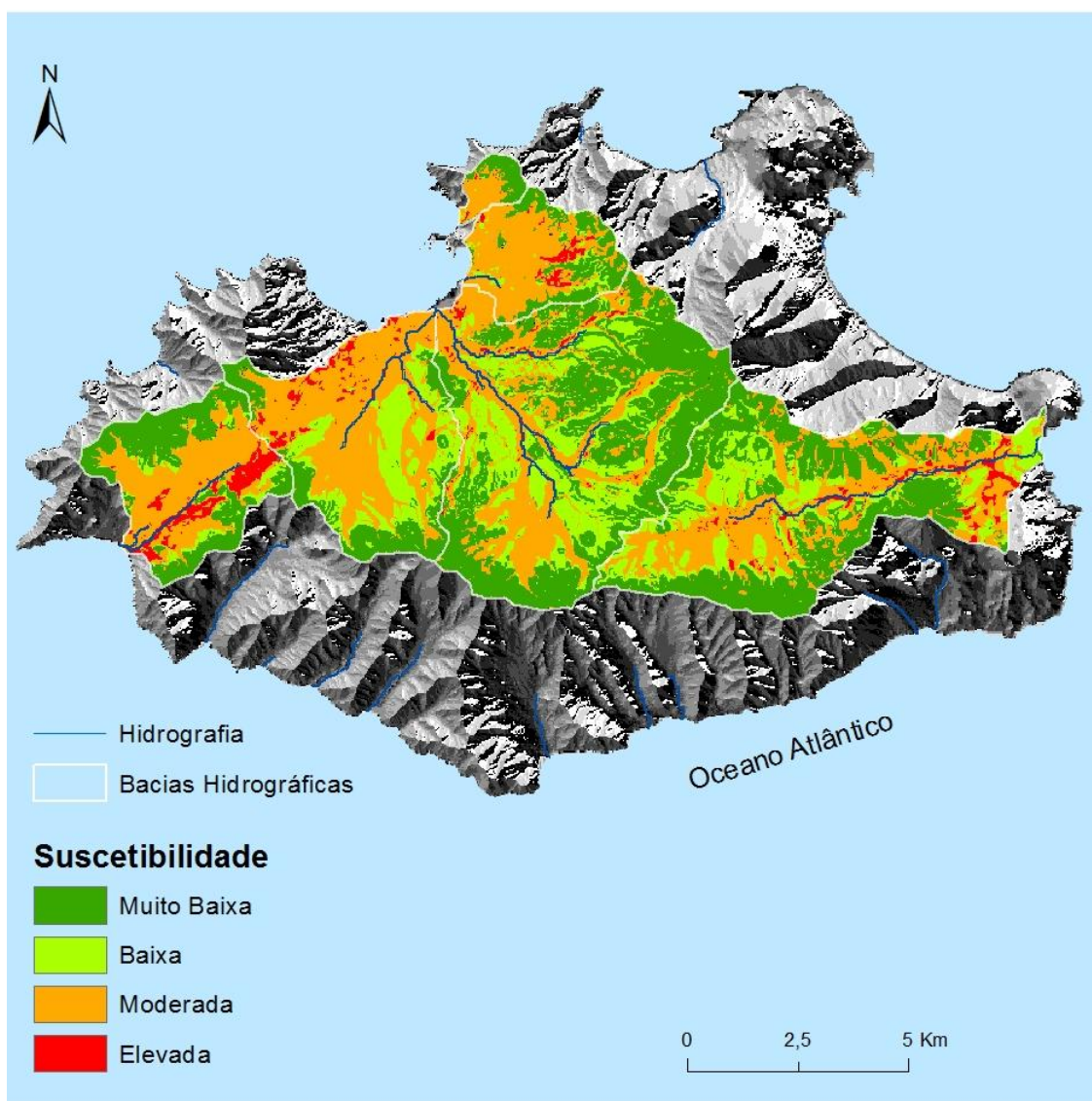


Figura 47: Suscetibilidade a ocorrência de cheias/inundações

Da análise da Figura 47 verifica-se que as áreas mais deprimidas da ilha são aquelas que são mais propensas a cheias/inundações. Estas áreas encontram-se, principalmente, na confluência das bacias hidrográficas. Apesar de assentarem sobre materiais de permeabilidade elevada (detritos sedimentares), estes não interferem no grau de susceptibilidade das áreas ocupadas, não só pela fraca espessura, mas também porque estão sobre materiais de fraca permeabilidade (Complexo Eruptivo Antigo - CA).

IV. 3.1 Análise da ocorrência de cheias/inundações por bairros da cidade do Mindelo

Para elaboração do mapa de suscetibilidade de Cheias/inundações por bairro na cidade do Mindelo socorreu-se de notícias de jornais diários *online*s cabo-verdianos como A Semana, Expresso da Ilhas, Noticias do Norte, Sapo CV no período compreendido entre 2008 - 2015²⁷. As notícias selecionadas referem-se as inundações ocorridas na cidade do Mindelo com referência aos bairros com registos de ocorrências e as principais consequências. Esta metodologia de análise da suscetibilidade por bairros baseou-se no trabalho de Lima (2012), relativamente as inundações na cidade da Praia, ilha de Santiago em cabo Verde (Figura 48).

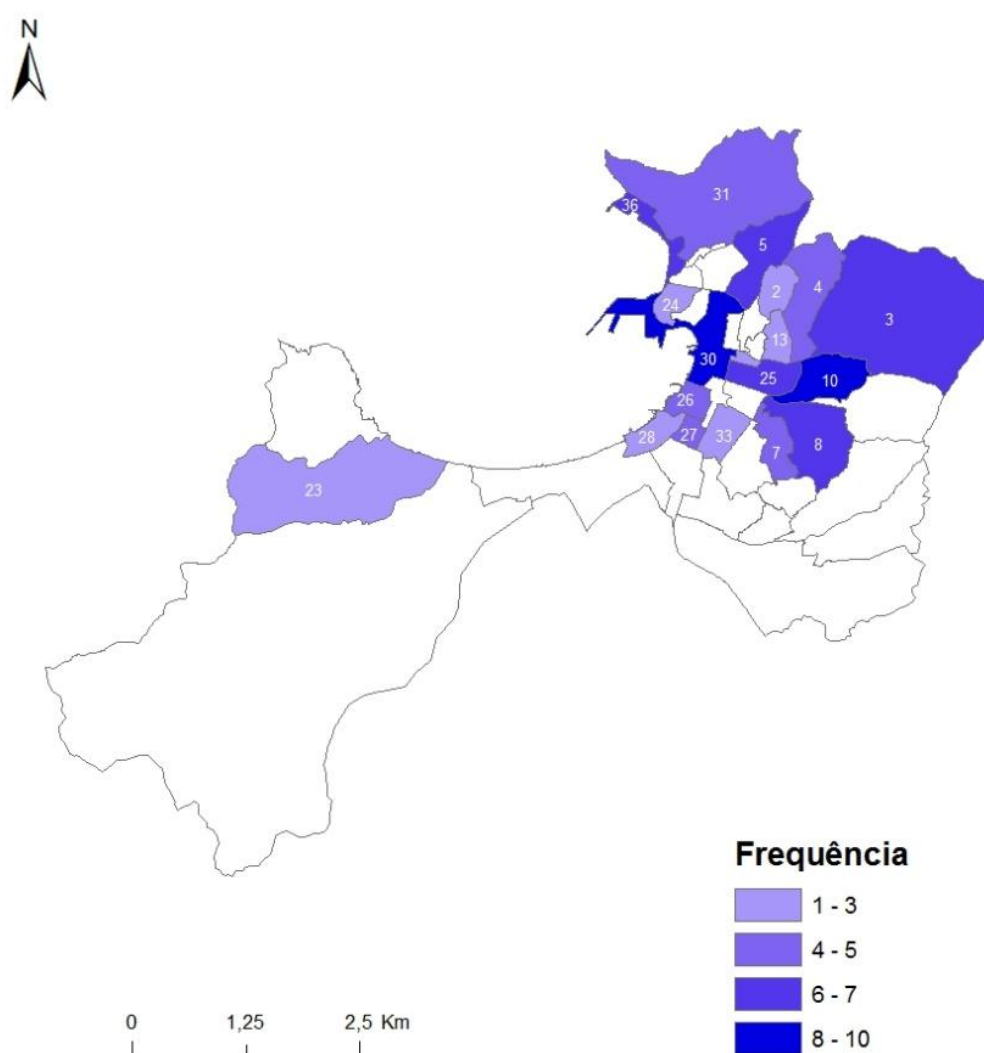


Figura 48: Bairros afetados pelas cheias/inundações segundo as notícias dos jornais.

²⁷ Foi escolhido este período porque com base nos dados do INMG desde que há registo, 1961, os valores mais elevados de precipitação verificaram-se nesse período.

Ao analisar a suscetibilidade a cheias/inundações por bairros verifica-se que 76,4% dos bairros da cidade da Mindelo encontram-se dentro de três bacias em análise (Lameirão, Ribeira de Julião e Chã de Alecrim), dos quais 17% apresentam suscetibilidade elevada e 27% suscetibilidade moderada. Neste conjunto de bairros importa destacar os que oferecem uma maior suscetibilidade às inundações que são Vila Nova/Lombo Tanque, Ribeira Bote, Centro cidade, Torrada, Fonte Francês, Matiota/Laginha.

Em relação ao mapa da Figura 49, este foi elaborado com base em entrevistas efetuado a alguns técnicos/especialistas²⁸ de diversas áreas.

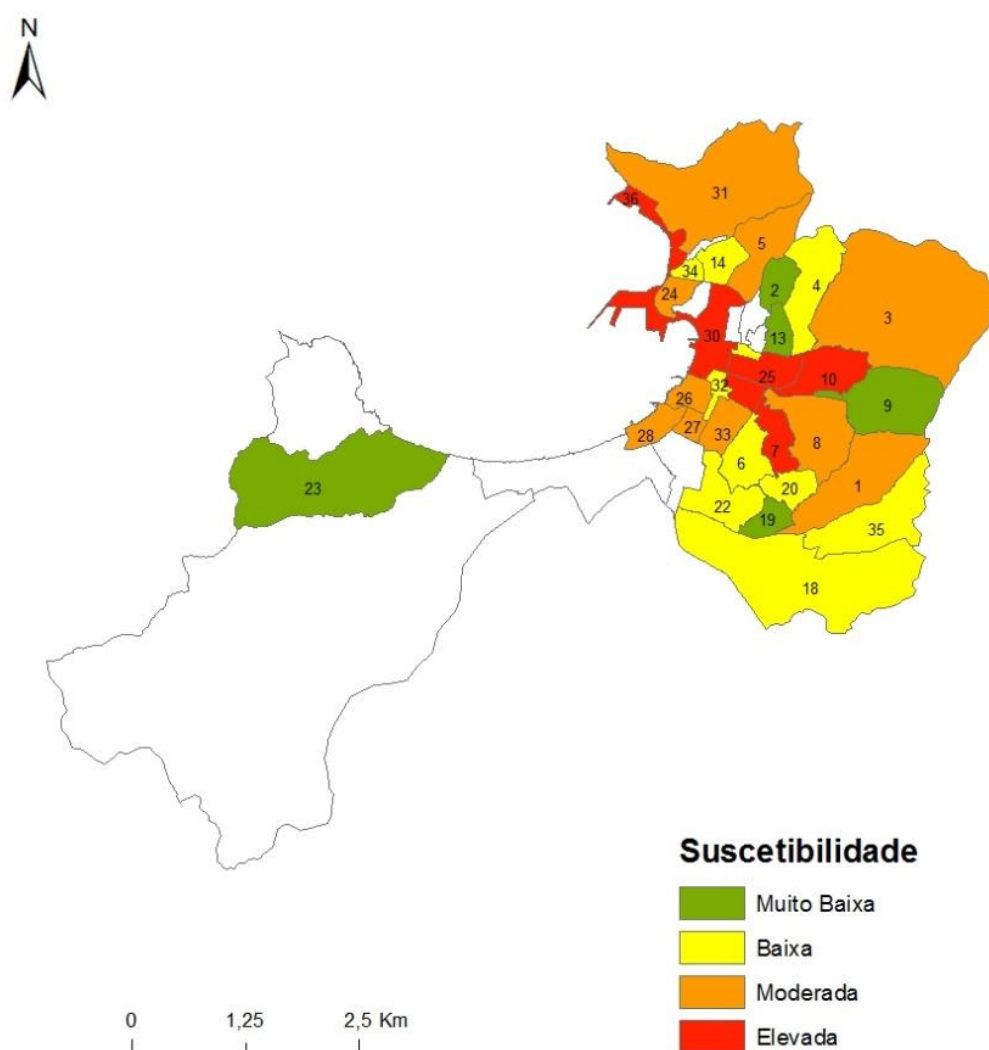


Figura 49: Bairros afetados pelas cheias/inundações segundo os entrevistados

²⁸ Os Técnicos/Especialistas referem-se a indivíduos ou representantes de instituições (Educação, Proteção Civil, Corpo de Bombeiros, Orgão de Comunicação, Associações Locais, Forças de Segurança e Saúde, etc) que demonstra uma certa experiência em lidar com situações de cheias/inundações na cidade do Mindelo.

Ao analisar os mapas de suscetibilidade produzidos a partir das notícias de jornais e das entrevistas aplicadas aos Técnicos/Especialistas, verifica-se que o número de bairros que podem ser afetados pelo fenómeno de cheias/inundações varia. Aqui convém destacar que, os bairros da Vila Nova/Lombo Tanque e Centro da cidade/ (nº10 e 30 da Figura 49) aparecem como bairros de elevada suscetibilidade a cheias/inundações nos dois mapas. Sendo assim, pensa-se que população destes bairros, podem ser as mais atingidas, pelo fenómeno de cheias/inundações.

IV. 3.2 Análise da vulnerabilidade social

A vulnerabilidade aos perigos, como referem Wisner *et al.* (2004), é um processo constituído por componentes que envolvem causas profundas como fatores históricos, políticos, económicos, ambientais e demográficos que produzem desigualdades e pressões dinâmicas (processos sociais específicos como, por exemplo, uma rápida urbanização, conflitos sociais, etc.) e condições de vida pouco seguras (exposição desigual ao risco). Assim, o conceito de vulnerabilidade social está associado ao grau de exposição aos perigos naturais e tecnológicos e aos acontecimentos extremos, dependendo estreitamente da capacidade de resistência e de resiliência dos indivíduos e das comunidades mais afetadas.

Por sua vez, Cutter (2011), realça que a ciência da vulnerabilidade consiste na integração multidisciplinar das ciências sociais, das ciências naturais e da engenharia, tentando perceber a forma como os elementos expostos a eventos danosos, e qual a sua capacidade de resposta face a essas ocorrências. Independentemente da origem das definições, o conceito de vulnerabilidade está sempre associado com a debilidade em enfrentar determinados cenários adversos. O crescente desenvolvimento do arquipélago de Cabo Verde fez com que fosse feito um maior investimento, designadamente na melhoria de acessibilidades, infraestruturas e comunicações, entre outros. A ocupação das periferias da cidade do Mindelo, ilha de São Vicente, levou à impermeabilização dos solos e ocupação dos fundos dos vales e áreas de declives acentuados o que, por sua vez, favoreceu a que cada vez mais atividades económicas fossem atingidas por fenómenos naturais.

Numa análise a vulnerabilidade deve-se ter em conta as seguintes questões: o quê e como pode ser atingidos, ou seja, torna-se necessário identificar os elementos expostos e de que forma esses mesmos elementos podem ser afetados. A carta de

elementos expostos foi elaborada com base nos elementos em risco mencionados em Julião *et al.*, (2009). Serão considerados os elementos estratégicos, vitais/sensíveis como o hospital, a rede viária principal, os bombeiros, a Polícia Nacional e as Forças Armadas. Através dessa carta será possível elaborar um zonamento da vulnerabilidade.

Pela observação da Carta de Elementos Estratégicos (Figura 50) verifica-se que há uma maior concentração destes elementos na cidade do Mindelo. Esta localidade destaca-se das restantes, pela forte concentração populacional, localização de equipamentos estratégicos²⁹ e centros de decisão³⁰.

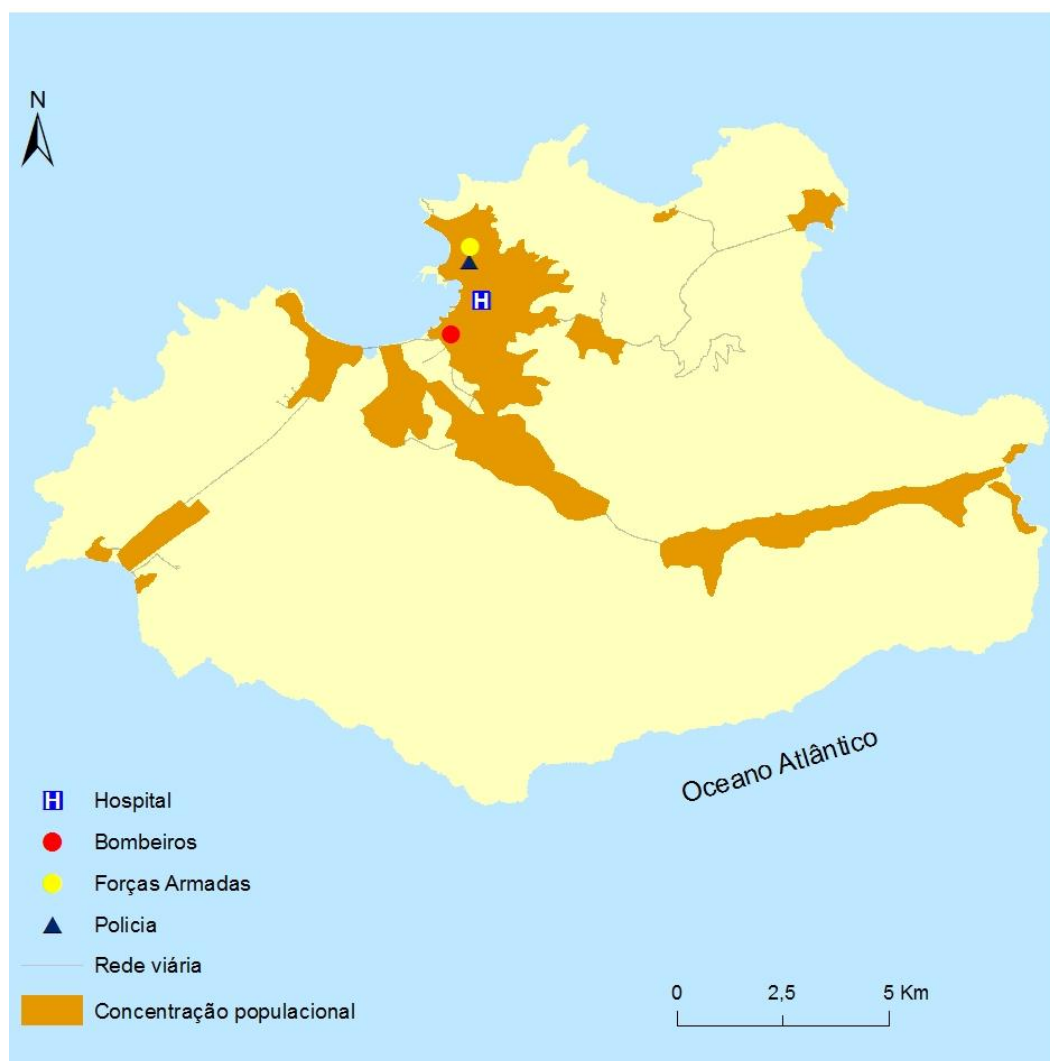


Figura 50: Carta de Elementos Estratégicos

²⁹ Constituem Elementos Estratégicos os meios de socorro como os Hospitais e os Bombeiros, e as forças de segurança como as Forças Armadas e a Polícia Nacional.

³⁰ Sede de organismos públicos como Câmaras Municipais, Delegações de Ministérios, entre outros, etc.

Ao fazer-se uma avaliação à vulnerabilidade deve-se analisar os seus elementos expostos ao perigo que são determinados pelo contexto social, económico, cultural, político, ambiental, evidenciando a sua capacidade de antecipar, lidar, resistir e recuperar dos fenómenos naturais extremos como cheias/inundações, movimentos de massas, sismos, erupções vulcânicas, furacões, etc.

Santos (2009), acrescenta que na teoria, uma cidade resiliente, no domínio dos desastres naturais, tem uma maior capacidade de preparação, adaptação, antecipação, aprendizagem e de auto-organização em função de choques externos. A cidade resiliente é menos vulnerável e assume uma melhor preparação para lidar com a mudança, com a complexidade dos riscos existentes, com crises e perturbações múltiplas e evitando colapsos, como consequência de um desastre. De acordo com a Campanha Internacional para a Redução do Risco de Desastre - Construindo Cidades Resilientes 2010-2015 uma cidade resiliente deverá ter em conta um conjunto de princípios (UN-ISDR, 2012)³¹.

Atendendo à população residente nestes bairros torna-se essencial analisar a sua vulnerabilidade, uma vez que ela não se distribui de igual forma pelo território (Figura 51). Ou seja, é fundamental contabilizar o número de habitantes que podem sofrer com as consequências a quando da manifestação destes fenómenos. Para ilustrar esta ideia o bairro de Ribeira de Passarão apresenta uma população de 75 residentes, enquanto existem outros com populações superiores aos 5 mil residentes, como são os casos de Ribeirinha, Fonte Inês/Espia, Monte Sossego, Bela Vista/Pedreira, e Chã de Alecrim. O bairro da Ribeirinha com uma suscetibilidade moderada e uma população elevada é aquele que se encontra mais exposto às situações de cheias/inundações. O bairro de Vila Nova/Lombo Tanque, que surge com um número expressivo de residentes e uma suscetibilidade elevada, também possui um grau de exposição elevado. Por outro lado, os bairros Matiota/Laginha e Fortinho/Escola Técnica com suscetibilidade elevada apresentam uma população reduzida, e consequentemente um menor grau de exposição das populações.

³¹ Para uma análise mais detalhada ver os princípios da Campanha Internacional para a Redução do Risco de Desastre - Construindo Cidades Resilientes 2010-2015 (UN-ISDR, 2012).

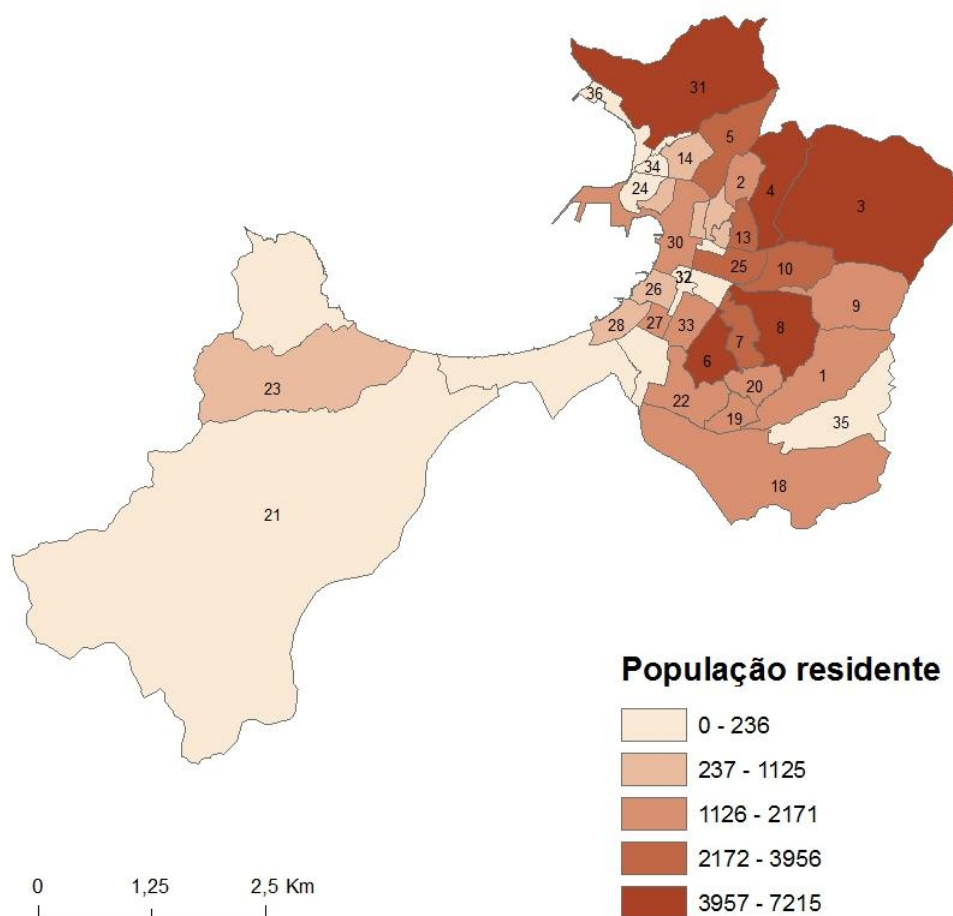


Figura 51: População residente por bairros. Fonte: Censos 2010

- | | | |
|------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 1 - Ribeira de Craquinha | 13- Fonte Filipe | 26- Monte/ Craca |
| 2- Cruz de João d'Evóra | 14- Zona Militar | 27- Campim |
| 3- Ribeirinha | 15- Alto Morabeza | 28- Dji d'Sal |
| 4- Fonte Inês /Espia | 16- Alto Miramar | 29- Alto São Nicolau |
| 5- Fonte Meio/ Madeiralzim | 17- Alto Santo António | 30- Centro da Cidade/ Morada |
| 6- Monte Sossego | 18- Ribeira de Julião | 31- Chã de Alecrim |
| 7- Fonte Francês | 19- Horta Seca | 32- Chã de Cemitério |
| 8- Bela Vista /Pedreira | 20- Fernando Pó | 33- Chã de Monte Sossego |
| 9- Pedra Rolada | 22- Trás de Cemitério | 34- Ché Guevara |
| 10- Vila Nova / Lombo Tanque | 23- Lazareto | 35- Ribeira de Passarão |
| 11- Alto Solarine/ Forca | 24- Fortim/ Escola Técnica | 36- Mاتيota Laginha |
| 12- Fonte Cônego | 25- Ribeira Bote | |

IV. 3.3 Análise do risco

Para a análise do risco seria necessário obter as componentes vulnerabilidade e perigosidade. No presente estudo estas não se determinaram, porque não existe informação suficiente sobre a composição dos elementos expostos, nomeadamente o seu valor e o respetivo grau de perda em resultado da ocorrência de uma cheia/inundação de determinada magnitude e também informação relativa ao período de recorrência das manifestações destes fenómenos. Neste contexto, elaborou-se a carta do risco, tendo por base o mapa de suscetibilidade e a população residente. Mas, segundo alguns autores, na análise do risco de cheias/inundações deve-se considerar, além da população residente, as infraestruturas e equipamentos como escolas, hospitais, câmara municipal, bombeiros e forças de segurança, entre outros bem como as diferentes atividades económicas nas áreas inundáveis.

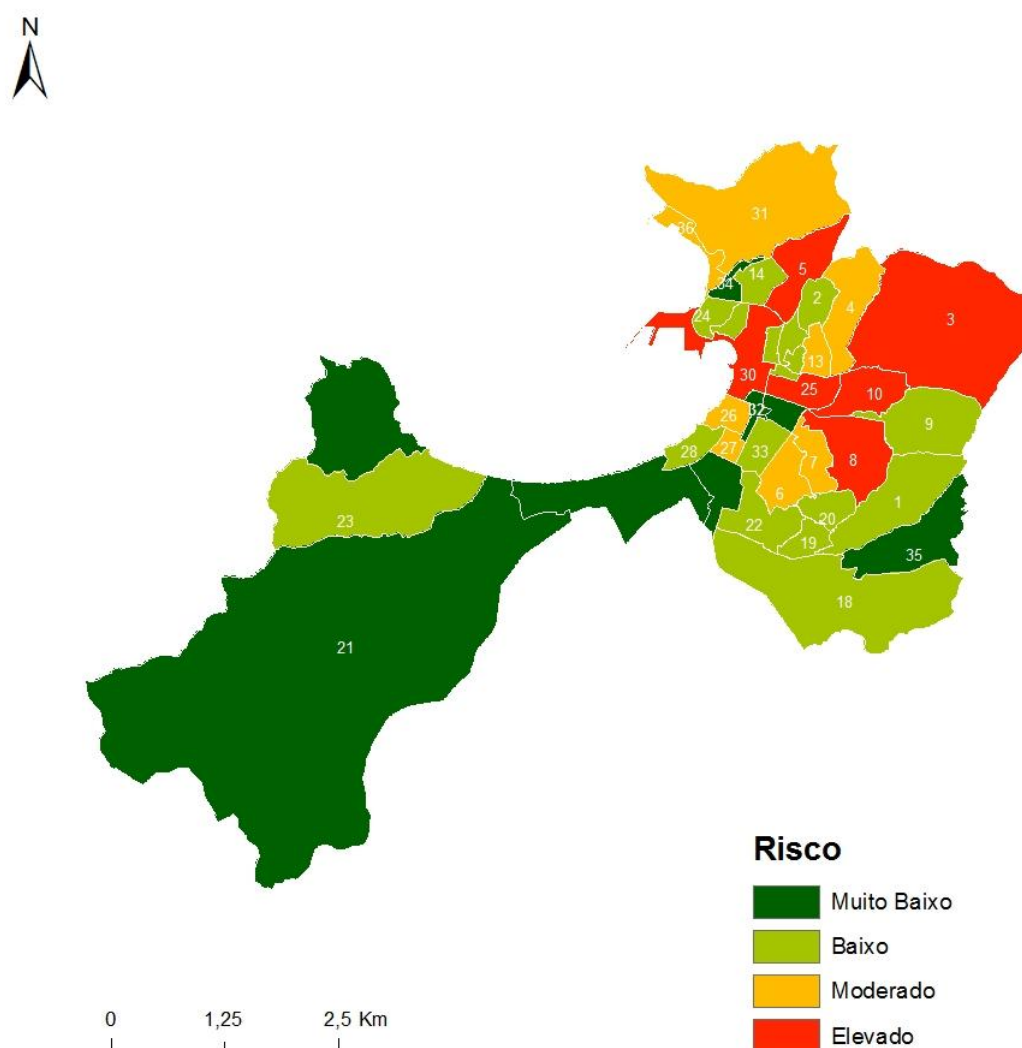


Figura 52: Risco de cheias/ inundações por bairros da cidade do Mindelo.

Da análise do mapa da Figura 52 destacam-se os bairros de Ribeirinha, Vila Nova/ Lombo Tanque, Ribeira Bote, Bela Vista/Pedreira e Centro da cidade com risco elevado. A convergência das linhas de água das principais bacias que drenam a cidade e a população desses bairros podem justificar o resultado deste mapa. Estes bairros estão próximos da bacia do lameirão e dos seus afluentes, sendo esta a principal ribeira que drena a cidade do Mindelo. Segundo os Censos de 2010 do total de 69904 habitantes residentes no Mindelo, estima-se que 4625 podem ser afetadas pelas cheias/inundações, o que representa 7% da população residente.

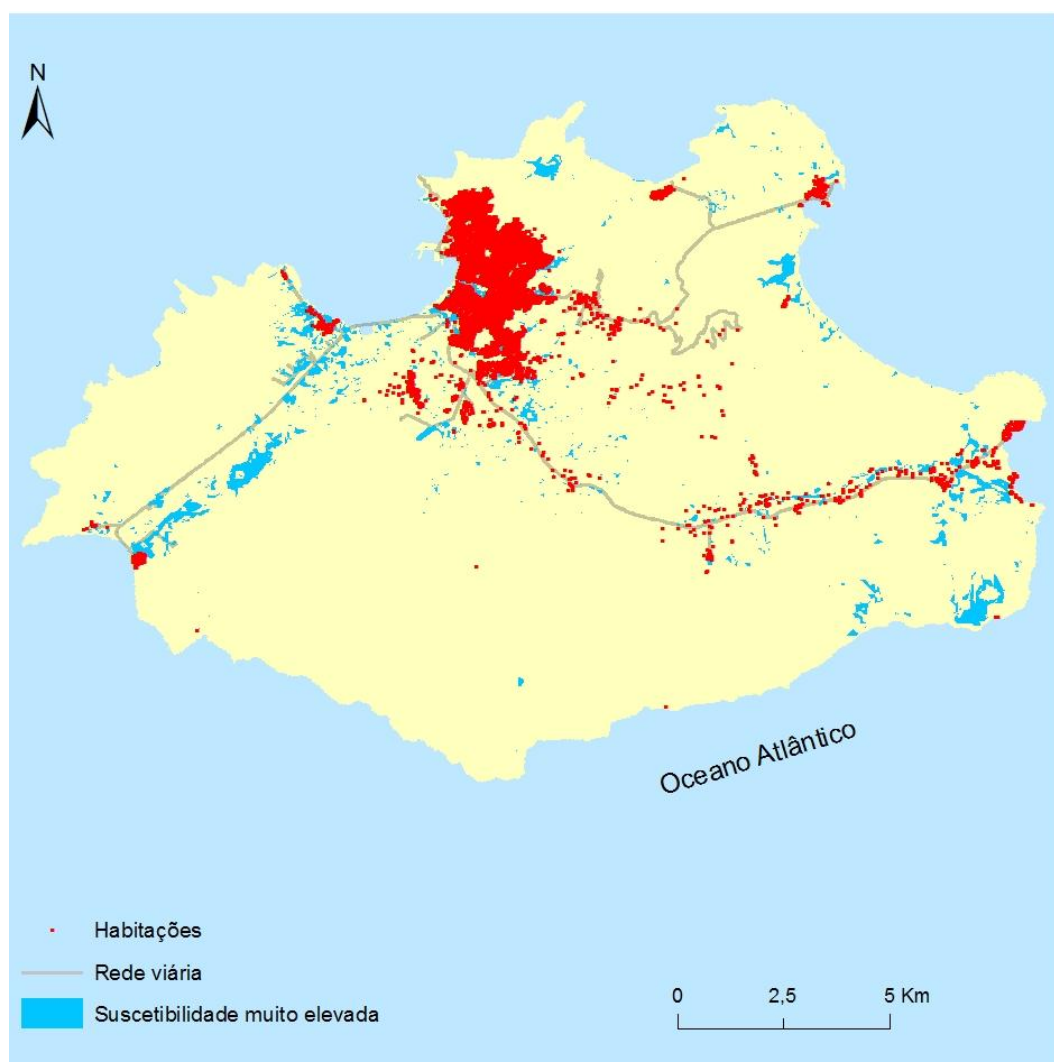


Figura 53: Determinação de edificado em áreas de risco

Ainda em relação ao risco, sobrepôs-se a carta de suscetibilidade (muito elevada) com os elementos expostos (habitações e rede viária) e determinou-se os elementos em risco. Desta análise, conclui-se que das 21905 habitações existentes na

ilha 6731 estão em áreas de risco de inundação, o que representa 31,9 % do total das habitações. Ainda foram identificados em zona de elevada suscetibilidade elementos vulneráveis, como áreas residenciais. Salientam-se alguns troços da rede viária nacional e municipal, que ficam usualmente submersos e por vezes intransitáveis, ainda que sem causar problemas de isolamento de populações (Figura 53).

São Vicente apresenta condições favoráveis para aplicações da equação do risco, na análise de situação de risco na ilha, principalmente na cidade do Mindelo. Aqui o risco de cheia /inundação na “baixa” da cidade, é uma ameaça sempre que se verificam quantitativos de precipitação elevados. Também no centro é onde se localizam as instituições mais importantes deste território, logo a vulnerabilidade será também elevada. Nesta situação de risco, o processo potencialmente perigoso é representado pelas inundações do centro da cidade e de algumas ribeiras, em períodos de chuva intensa.

IV. 4. Análise multicritério em Sistemas de Informação Geográfica

Uma decisão corresponde a uma escolha entre várias alternativas, sejam elas relacionadas com ações, localizações, ou qualquer outra temática. Na base de cada decisão está um critério. A análise multicritério (AMC) assente precisamente nesta premissa para tentar conjugar, de acordo com um objetivo específico, um conjunto de critérios de forma a alcançar uma base composta de suporte à decisão. Esta ideia é reforçada por Gomes e Lins (1999) e Ferreira (1997) ao citarem que a finalidade básica da técnica de análise multicritério é investigar uma serie de alternativas possíveis, à luz de vários critérios e objetivos conflitantes, para tomar a melhor decisão.

A análise multicritério em ambiente SIG permite a agregação de inúmeras variáveis, sendo recomendada para decisões complexas. Zambon *et. al* (2005:183) afirmam que *“a integração de SIG e de métodos de decisão multicritério vêm proporcionando inúmeros benefícios para análise de problemas e tomada de decisão no planeamento...”*

Neste sentido, Gonçalves (2007) afirma que a avaliação multicritério pode ser implementada num SIG através de um dos dois procedimentos seguintes. O primeiro envolve a sobreposição booleana, em que os critérios são adaptados à lógica binária (0/1), em termos da aptidão, combináveis sequencialmente, através de operadores como a intersecção (AND) e a união (OR). As combinações booleanas são abordagens

práticas e de simples aplicação. O segundo envolve a lógica fuzzy, combinação de critérios contínuos, através da normalização para uma escala contínua (por exemplo 0 a 1) e da aplicação de pesos para obter média pesada. É muito comum a sua utilização para padronizar os fatores presentes num modelo multicritério (Hansen, 2005).

A técnica de análise multicritério, em combinação com os SIG, tem sido utilizada com sucesso, por exemplo, na aplicação ao estudo da afetação potencial de usos do solo no sector Norte do Maciço Marginal de Coimbra (Figueiredo, 2001) ou na avaliação da suscetibilidade à erosão hídrica na bacia da Ribeira dos Picos, Santiago de Cabo Verde. (Correia, 2007). Já Rosa, *et al.* (2008) utilizaram este método com sucesso para mapear o risco de inundação na bacia hidrográfica do rio Alegre (Brasil). Ainda Ramos *et. al* (2012 e 2014) aplicaram o mesmo método no estudo da suscetibilidade a deslizamentos de terra na região Figueira da Foz e Nazaré e no estudo de geomorfologia e riscos naturais no município de Leiria.

Segundo a literatura específica na área não existe um consenso quanto a atribuição de pesos aos critérios. A atribuição de peso aos critérios constitui um dos grandes obstáculos encontrados num processo de decisão que envolve a análise multicritério, todavia existem várias propostas (Malczewski, 2000; Saaty, 1980, 2008; Voogd, 1982).

Neste sentido, utilizou-se neste estudo a técnica de *Analytic Hierarchy Process* (AHP) desenvolvido por Saaty (1980), devido ao facto desta ser uma metodologia amplamente utilizada e base de referência no processo de tomada de decisão com a existência de múltiplos critérios para atribuição dos pesos aos fatores em análise.

O AHP é um método eficaz para a tomada de decisão, pois identifica a melhor opção dentro das alternativas possíveis e ajuda na determinação das prioridades, considerando aspetos quantitativos e qualitativos. Através de redução de decisões complexas a decisões comparativas par a par (Santos, 2005).

A grande vantagem do método AHP é permitir que o decisor atribua pesos relativos para múltiplos critérios, ou múltiplas alternativas para um dado critério, de forma intuitiva, ao mesmo tempo em que realiza uma comparação par a par entre os mesmos. Isso permite que, mesmo quando duas variáveis são incomparáveis, com os conhecimentos e a experiência das pessoas, pode-se reconhecer qual dos critérios é mais importante (Saaty, 1991).

Saaty (2008) acrescenta que para tomar a melhor decisão possível, e de forma organizada, através do método do AHP, é necessário seguir as seguintes fases. Em

primeiro lugar define-se o problema e objetivo que se pretende alcançar. Em segundo faz-se a estruturação dos critérios em forma de hierarquia. Na terceira etapa faz-se a construção de uma matriz quadrada de comparação de pares, em que os critérios são comparados par a par. Por último, atribui-se um peso, a cada um dos critérios de modo a obter o grau de importância de cada um.

Para fazer a comparação par a par e a consequente atribuição dos pesos a cada elemento, é necessário uma escala numérica que indica quantas vezes um critério é mais importante que outro. No Quadro 16 é apresentado uma escala numérica proposto por Saaty, (1980) para quantificar a importância de cada critério.

Quadro 16: Escala de comparação de critérios

Grau de importância	Definição	Descrição
1	Igual importância	Duas características contribuem igualmente para o objetivo
2	Fraco	
3	Importância moderada	Preponderância ligeiramente de uma característica em relação a outro
4	Moderado mais	
5	Forte importância	Preponderância forte de um critério em relação a outro
6	Forte mais	
7	Muito forte	Preponderância de um critério é muito forte ou superior a outro
8	Muito, muito forte	
9	Extrema importância	Preponderância de um critério em relação a outro é o mais alto possível

Adaptado de Saaty de 1980

O Quadro 17 apresenta um modelo de matriz de prioridades para facilitar a apresentação de como é realizada a comparação entre os critérios. A alteração dos pesos de cada critério é realizada dividindo-se os elementos de cada coluna pela soma daquela coluna (normalização), e posteriormente somando-se os elementos em cada linha resultante e dividindo-se esta soma pelo número de elementos na linha (Saaty,1991).

Quadro 17: Modelo de prioridade dos critérios

Critérios	C1	C2	C3	C4
C1	1			
C2		1		
C3			1	
C4				1
Soma				

Para verificar a consistência da matriz de prioridades dos critérios, multiplica-se a mesma pelo vetor peso e obtém-se a Matriz de Consistência (Saaty, 1998), com os elementos.

Ex: w1, w2, w3 e w4.

O Resultado da Consistência (RC) (Equação 10) é determinado através da divisão do índice de consistência (IC) pelo índice de aleatoriedade (IR) (Equação 11).

$$Rc = IC/IR \quad (\text{eq. 10})$$

$$Ic = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n - 1) \quad (\text{eq. 11})$$

Onde IR é um índice determinado em função de n (número de critérios), conforme Quadro18. O $\lambda_{\text{máx}}$ é um índice que relaciona os critérios da Matriz de Consistência e os pesos dos critérios. A Equação 12 apresenta o cálculo do $\lambda_{\text{máx}}$.

Quadro 18: Valores de IR para Matrizes Quadradas de ordem n,

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IR	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

$$3- \lambda \text{ máx} = 1 / n \times \Sigma (\text{critério Matriz Consistência} / \text{peso do critério}). \quad (\text{eq. 12})$$

Se RC for inferior a 0,1 o grau de consistência é satisfatório, mas se RC for superior a 0,1 podem existir sérios problemas de inconsistência e o método AHP não deverá ser utilizado (Saaty, 1991). Recomenda-se que os julgamentos sejam reorganizados, até que a consistência aumenta. Para a matriz foi calculado o respectivo resultado de consistência (RC) e tendo em conta, apenas, o valor de $RC < 0,1$, tal como preconizado por Saaty (1991).

IV. 4.1 Variáveis utilizadas na análise da suscetibilidade a movimentos de massas

Para a elaboração do modelo suscetibilidade a movimentos de massas definiu-se as seguintes variáveis de predisposição, altitude, declive, exposição, forma das vertentes, estes derivados a partir do Modelo Digital de Terreno (MDT), litologia e ocupação do solo. O MDT foi suportado nos pontos cotados e nas curvas de nível. As curvas de nível encontram-se na escala 1:10 000, com uma equidistância de 5 metros entre elas. O tamanho da célula utilizada no presente trabalho é de 30x30m, representando deste modo áreas de 900m². A escolha desta resolução foi admitida após vários testes com outras resoluções, optou-se por esta por produzir resultados mais satisfatórios, ou seja, aqueles que melhor se adaptaram a área de estudo.

As variáveis consideradas inserem-se no conjunto dos fatores de predisposição, ou seja, dos fatores que têm influência no condicionamento do grau de instabilidade potencial das vertentes. Estes fatores condicionantes da instabilidade podem variar de acordo com a área de estudo (Jimenez, 2009).

A variável altitude foi classificada em 5 classes. São Vicente possui uma altitude máxima de 740 m, sendo a amplitude de classe de 99,9 m que melhor se ajusta na classificação desta variável, isto após vários testes com outras amplitudes. Deste modo, a última classe agrega todos os valores superiores a 399,9 m.

A altitude não é o fator condicionante mais comum na literatura, exceto para estudos das zonas de montanha, com diferenças pronunciadas na elevação. Geralmente, a elevação é considerada como um fator indireto, relacionado a outros fatores desencadeantes, tais como, a precipitação, a temperatura de congelamento/descongelamento, o desenvolvimento do solo, a vegetação, etc., que podem ser mais difíceis de quantificar (Policarpo, 2012).

Em relação à variável declive (Figura 54), indicadora da inclinação é uma das mais influentes e utilizadas na modelação da suscetibilidade a movimentos de massas. Esta ideia é reforçada por Guzzetti *et al.*, (1999), Dai e Lee (2002) que dizem que o declive pode não ser o mais importante, mas é sem dúvida um dos mais influentes em análises de suscetibilidade. O declive controla diretamente as tensões tangenciais e a sua influência na escorrência superficial, estando condicionado por outras variáveis, como a litologia, estrutura geológica ou uso do solo, entre outras (Zêzere, 2005).

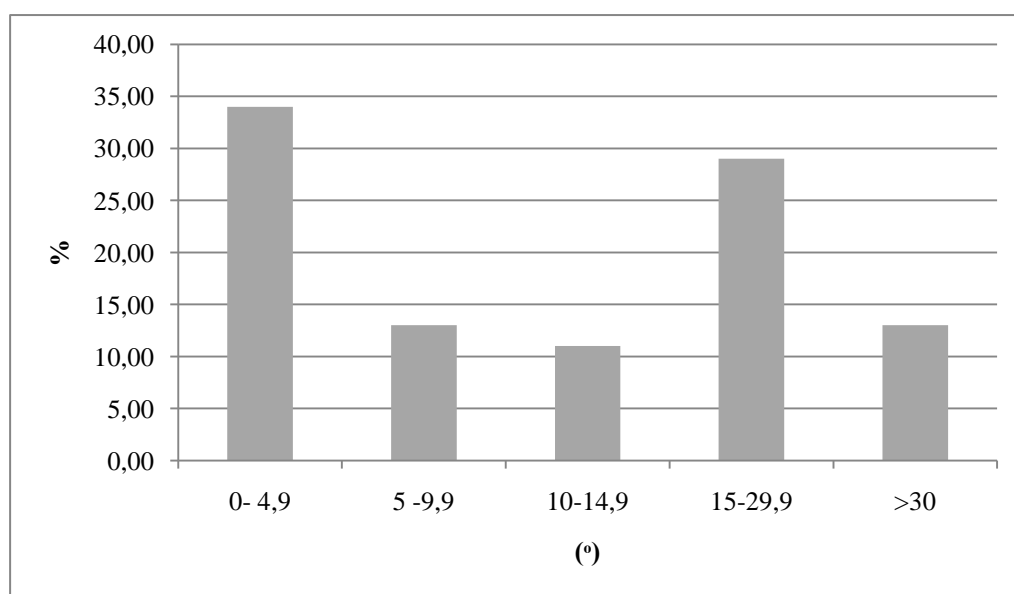


Figura 54: Percentagem da área de estudo por classe de declive

Quanto à variável “Exposições” esta foi obtida, também, a partir do MDT. A exposição de vertentes tem uma influência indireta sobre os movimentos de massas, relacionando-se com outras variáveis, tais como, a humidade do solo, que é geralmente mais intensa nas vertentes expostas a Norte, devido à menor insolação.

A forma das vertentes foi classificada em três classes, distinguindo-se as vertentes côncava ($<-0,05$), retilínea ($-0,05 - 0,05$) e convexa ($>0,05$), baseado no trabalho de Meneses (2011) para o concelho de Tarouca. As vertentes côncavas (maior

suscetibilidade) representam 18,9% da área de estudo, as convexas (menor suscetibilidade) 16,6% e as retilíneas 64,5%. As vertentes côncavas correspondem, maioritariamente, ao sector montante das vertentes, enquanto as convexas dizem respeito ao sector jusante e as vertentes retilíneas, a áreas com fraco declive, destacando-se nestas últimas, áreas de fundos de Vales de Calhau, São Pedro, Ribeira de Vinha e algumas áreas deprimidas das plataformas costeiras (Baía das Gatas e Calhau). Garcia, (2012), defende que a forma das vertentes é um fator que pode condicionar a ocorrência de movimentos de massas pela influência no modo como a água se distribui. Em termos de escoamento, a curvatura de uma vertente controla a sua divergência ou concentração.

A litologia permitiu analisar os diversos tipos formações litológicas e as suas influências no processo de ocorrência movimentos de massas. Os fatores litológicos como a natureza das rochas, alteradas e ou fissuradas, a existência de solos pouco espessos que assentam sobre rochas impermeáveis condicionam os movimentos de massas (Zêzere, 2005). Pressupõe-se que os movimentos de massas se ocorrem da mesma forma, em contexto litológico semelhante, tendo como base os mesmos fatores condicionantes e desencadeantes.

A ocupação do solo e algumas atividades antrópicas nele desenvolvidas têm influência na estabilidade de vertente. A ocupação do solo surge por meio de escavações na base das vertentes e a sobrecarga no topo das vertentes, sendo vários os pontos na ilha em que se verificam estas situações (Brunetti *et al.*, 2009). A extração de inertes como acontece na localidade Lazareto, e onde já se registou perdas de vidas humanas³² na sequência de derrocadas, constitui um exemplo de como a atuação humana condiciona em muito, a ocorrência de movimentos de massas.

Outro elemento influenciador dos movimentos de massas é a vegetação. As áreas onde o solo está praticamente exposto e quase completamente desprovido da vegetação exercem influência na instabilidade das vertentes, ideia esta que é defendida por Rebelo, (1997) que destaca que a ausência de vegetação proporciona maior erosão, processo que pode levar ao desencadeamento de movimentos de massas, principalmente quando os taludes perdem sustentação pela erosão que ocorre na sua base.

Zêzere (2001) realça que, a precipitação é dos elementos climáticos o mais importante para o desencadeamento dos movimentos de massas, e esta ideia aplica-se

³² Radio Televisão Caboverdeana (RTC) de 12 Agosto de 20014 noticiava assim “Derrocada de areia em Lazareto, São vicente provoca um morto. Chttp://www.rtc.cv/tcv/index.php?paginas=13&id_cod=34676

ilha de São Vicente, uma vez que os movimentos de massas registados estão, na sua maioria, associados à ocorrência de precipitação intensa e concentrada num curto espaço de tempo.

4.2 Processamento dos dados para determinação de áreas sensíveis a movimentos de massas.

Após a definição dos critérios, passou-se à fase do processamento dos dados no *software ArcGIS 10.2*, com vista à definição das áreas propensas a movimentos de massas. Os procedimentos e passos metodológicos seguidos para a determinação destas áreas são apresentados no fluxograma da Figura 55.

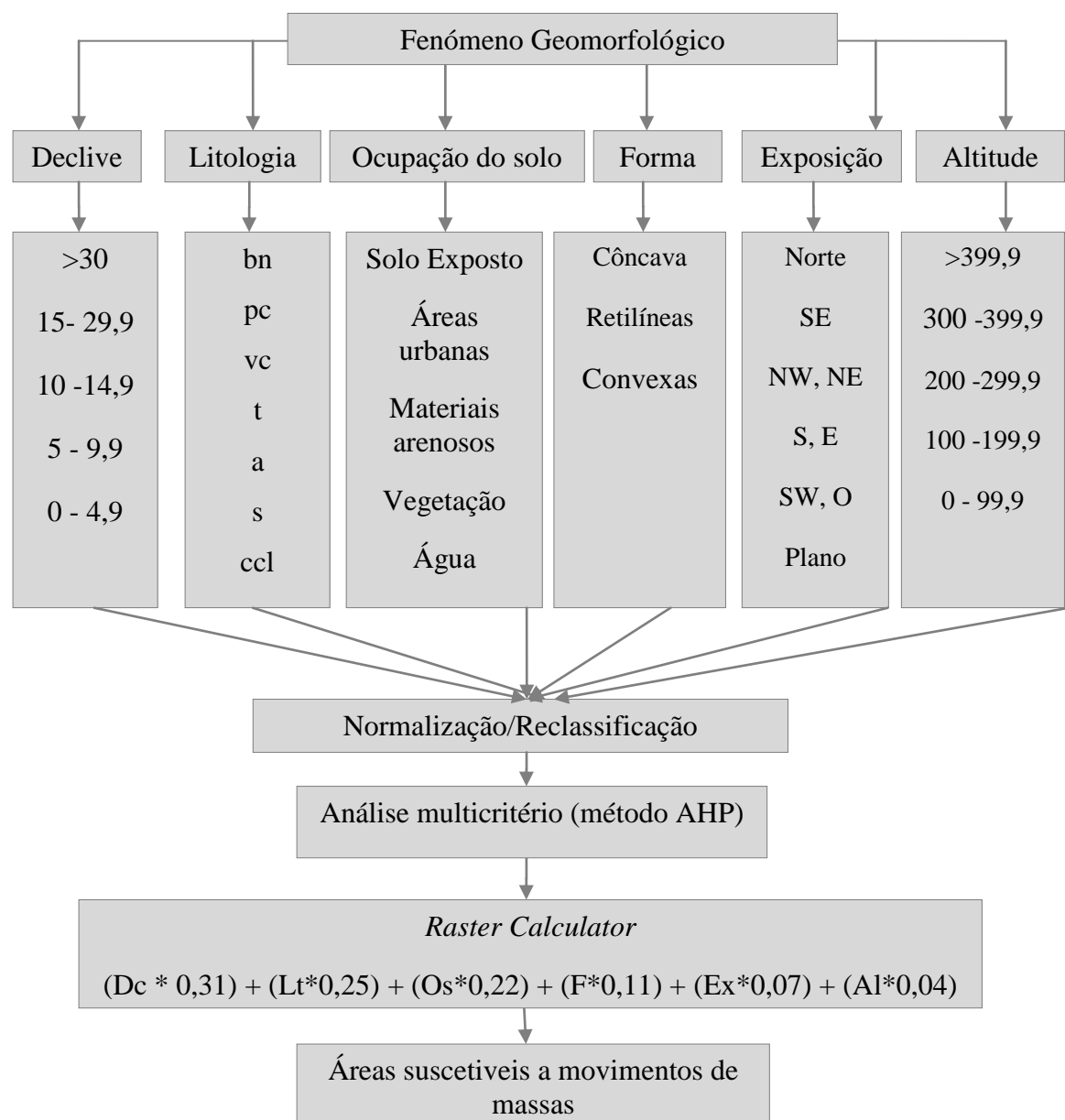
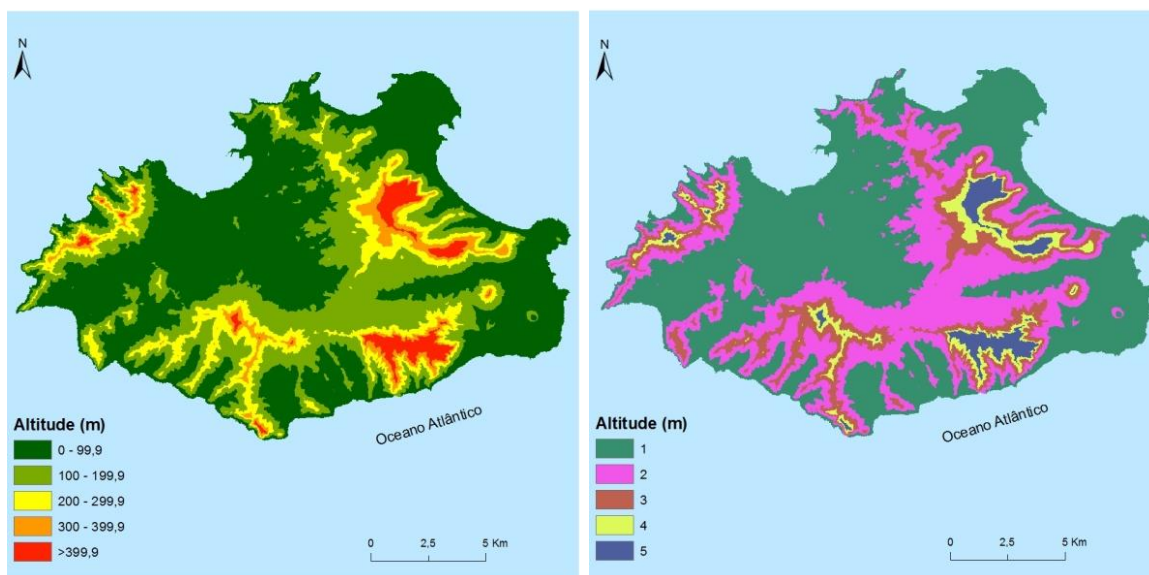
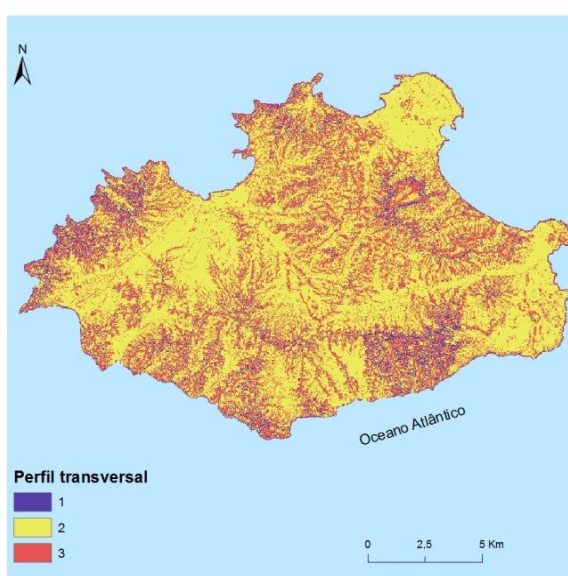
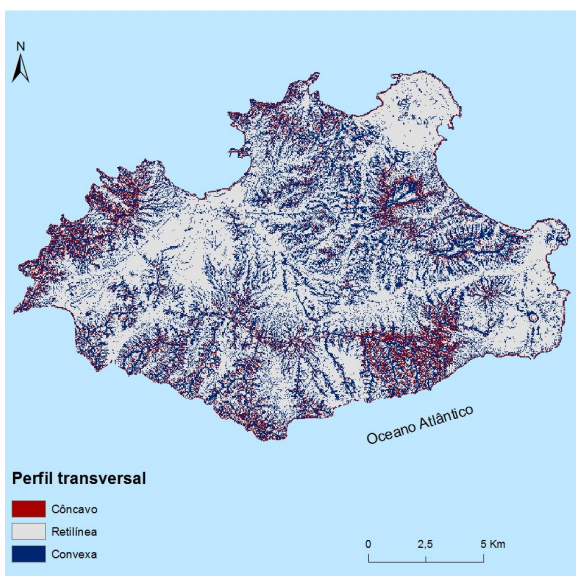
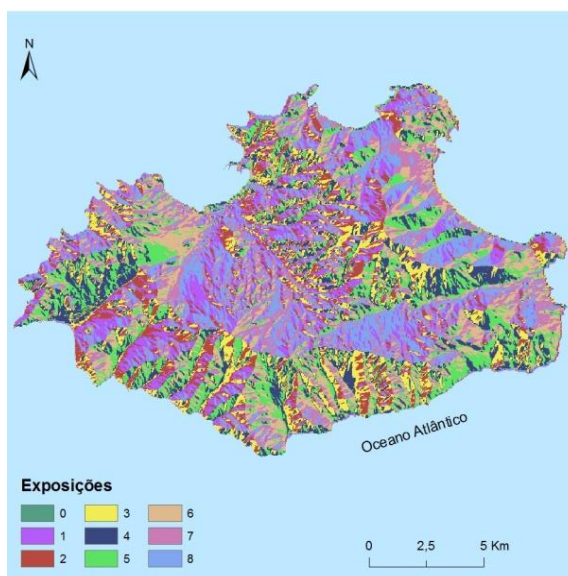
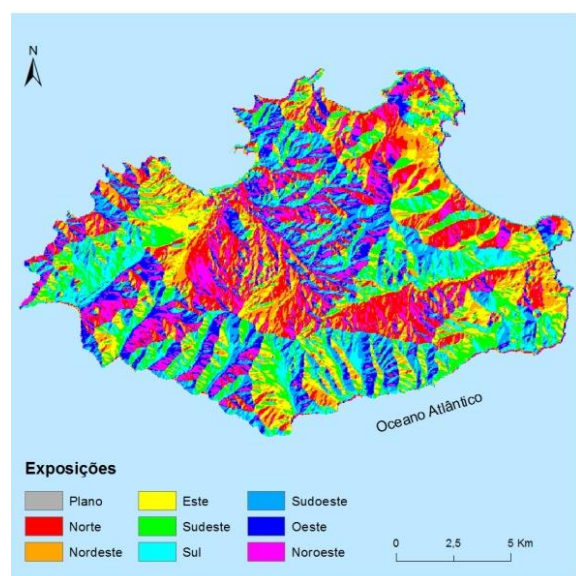
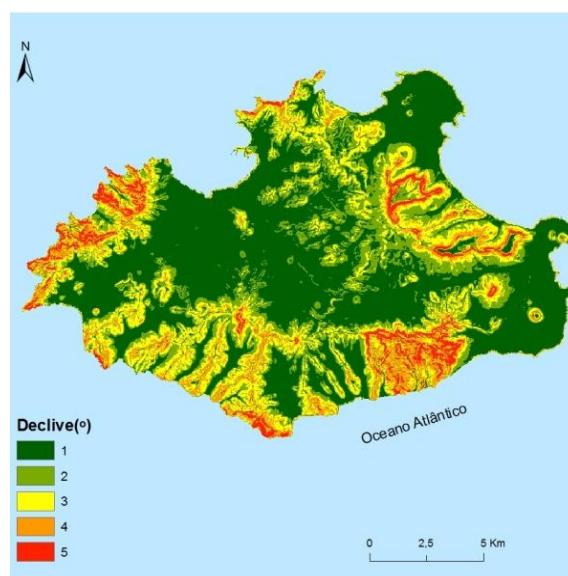
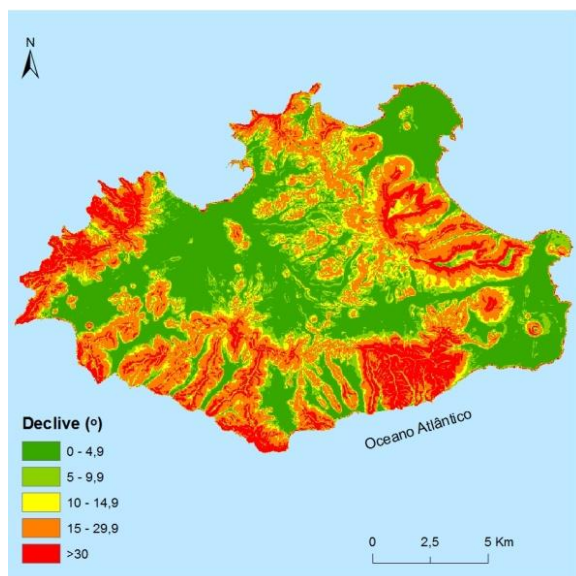


Figura 55: Fluxograma de procedimentos

IV. 4.3 Representação espacial das variáveis utilizadas na avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massas.

As variáveis consideradas inserem-se no conjunto dos fatores de predisposição, ou seja, dos fatores que têm influência no condicionamento do grau de instabilidade potencial das vertentes. Tendo todas as variáveis em formato *raster* ou *grid*, passou-se à normalização dos mesmos. O processo de normalização permite que valores de critérios não comparáveis entre si, sejam normalizados para a mesma escala visando a agregação entre eles (Zambon *et al.*, 2005). A maior parte dos processos de normalização utiliza o valor máximo e o mínimo para a definição de uma escala, que habitualmente varia entre 0 e 1. A normalização dos critérios em SIG é frequentemente obtida através da função de *reclassify*. “*Numa função de reclassificação os valores numa matriz são alterados em função de um conjunto de condições*” (Matos, 2008:134) (Figura 56).





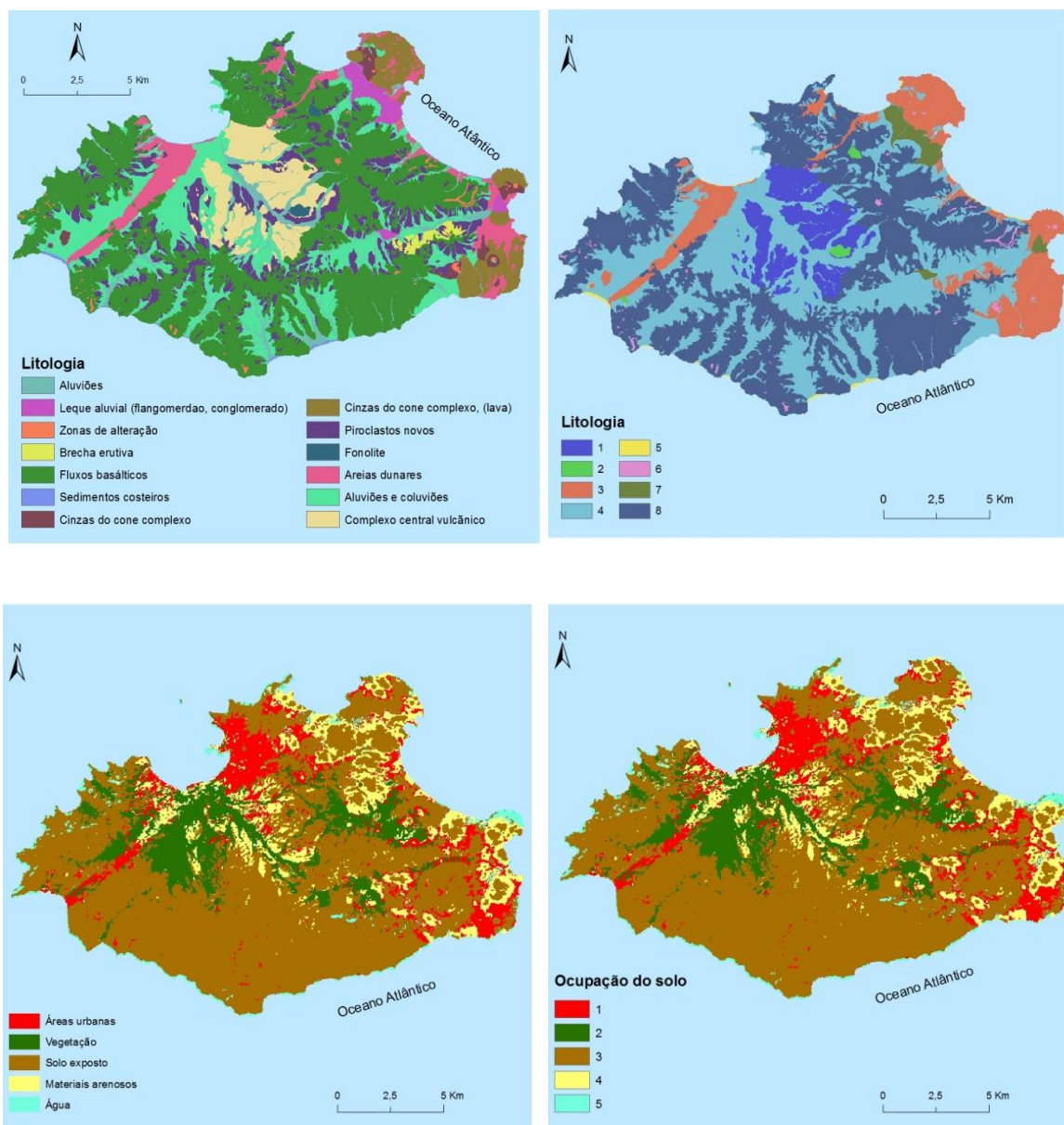


Figura 56: Representação espacial das variáveis utilizadas na avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massas.

De referir que, foi feita uma comparação par a par dos critérios envolvidos, aplicando a escala numérica, descrito no Quadro 19 para definir o grau de importância dos elementos em análise. O referido Quadro resume o processo de comparação par a par entre os critérios.

Quadro19: Comparação par a par para definir os pesos de cada critério segundo o método AHP

	Declive	Geologia	Ocupação	Forma	Exposição	Altitude
Declive	0,35	0,36	0,45	0,34	0,33	0,30
Geologia	0,26	0,25	0,26	0,28	0,25	0,23
Ocupação	0,18	0,20	0,15	0,18	0,15	0,17
Forma	0,12	0,10	0,07	0,10	0,13	0,16
Exposição	0,06	0,06	0,05	0,04	0,07	0,16
Altitude	0,04	0,03	0,02	0,06	0,06	0,06
Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
RC= 0,04		IC= 0,05				

Após a comparação entre os elementos da análise, e da atribuição dos pesos que define o grau de importância de um critério face a outro, obteve-se o peso final de cada um (Quadro20).

Quadro 20: Pesos finais dos critérios em análise

Critérios	Peso final	Ordem
Declive	0,31	1
Geologia	0,25	2
Ocupação	0,22	3
Forma	0,11	4
Exposição	0,07	5
Altitude	0,04	6
Total	1,00	

É de salientar que depois da definição dos pesos para cada critério, foi feita através das ferramentas de *raster calculator*, disponíveis no *ArcGis* 10.2, uma combinação linear ponderada dos critérios, da qual resultou um mapa com as áreas sensíveis a movimentos de massas, (Figura 57).

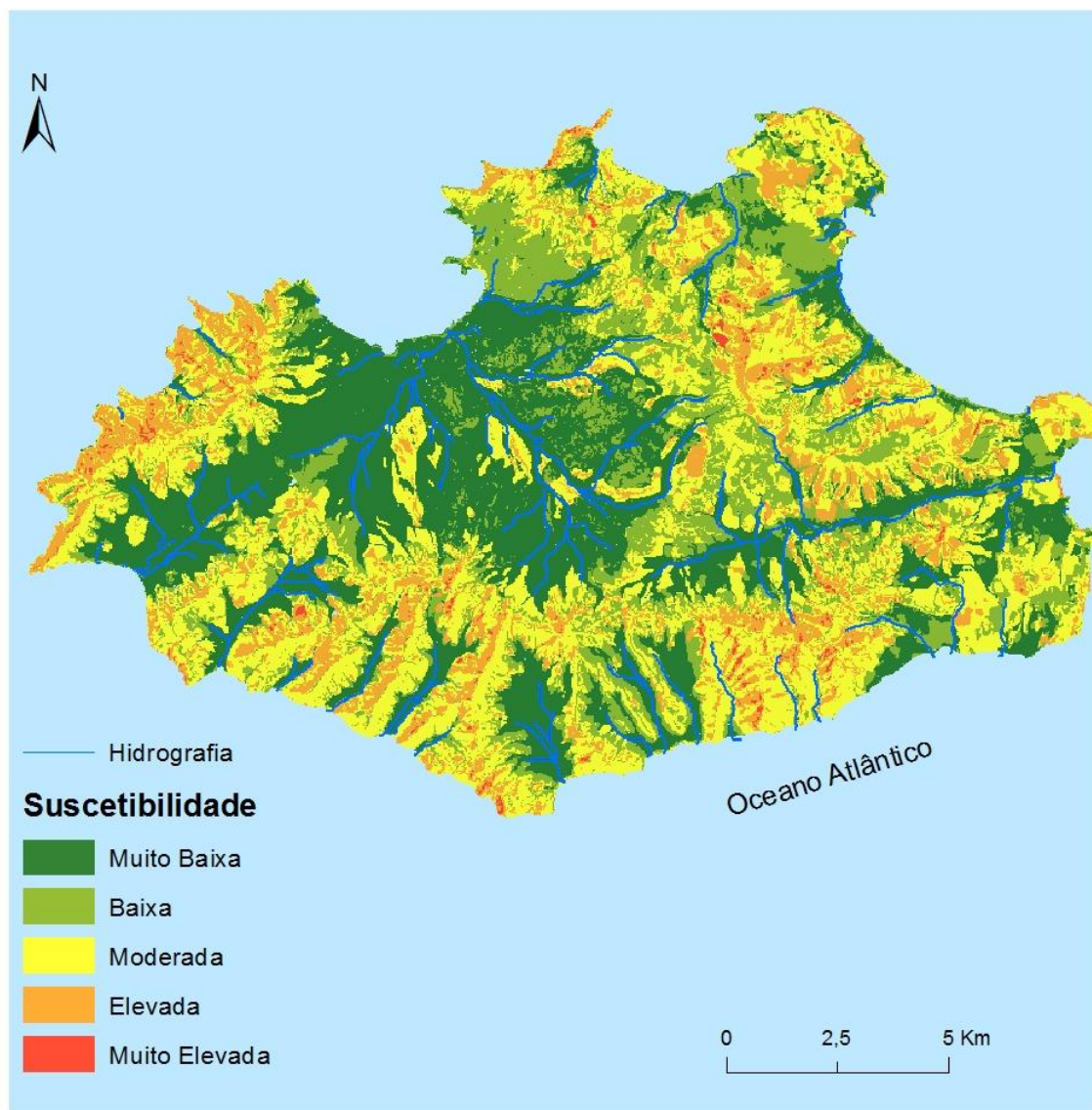


Figura 57: Carta de suscetibilidade a movimentos de massas

IV. 4.4 Análise da suscetibilidade a movimentos de massas

De acordo com Julião *et al.* (2009), os mapas de suscetibilidade representam a incidência espacial dos perigos, identificando e classificando as áreas com propensão para serem afetadas por um determinado perigo, em tempo indeterminado. Neste sentido, pode-se verificar pelo mapa de suscetibilidade (Figura 57) que as áreas mais favoráveis à manifestação de movimentos de massas encontram-se em alguns vales das principais ribeiras e nas áreas altas da ilha acima dos 500 m. São áreas onde se

identificam declives acentuados e uma constituição litológica propícia a movimentos de massas. Desta análise destaca-se a estrada de acesso à localidade de Baia das Gatas e Salamansa, no sopé do Monte Verde classificada com suscetibilidade elevada a muito elevada que, em caso de ocorrência de movimento de massas, pode deixar essas localidades isoladas, sendo esta a única estrada de acesso.

A classificação das áreas cartografadas como suscetíveis à ocorrência de movimentos de massas procedeu de acordo com 5 classes de suscetibilidade: muito baixa; baixa; moderada; elevada e muito elevada (Figura 56).

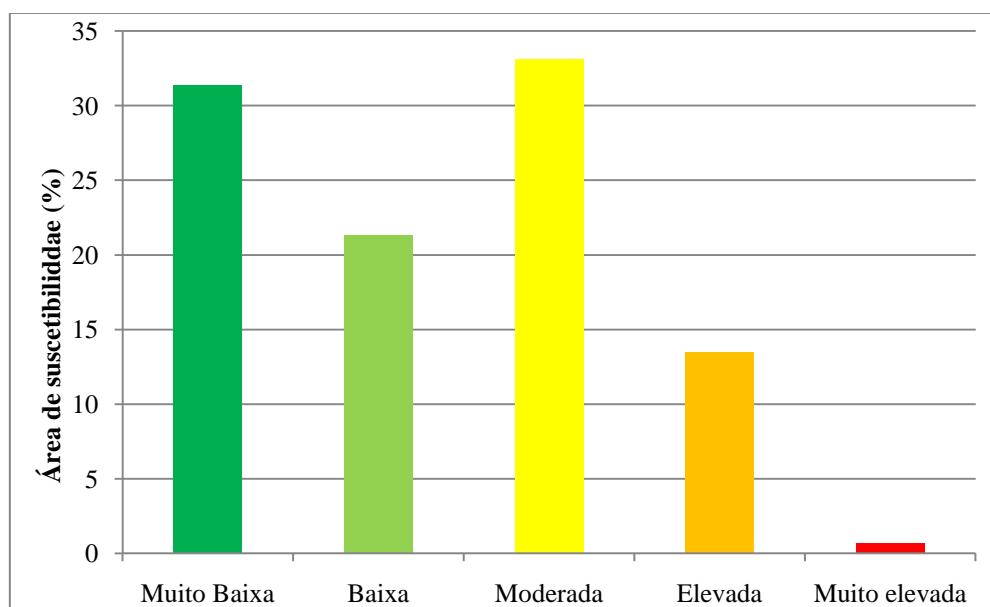


Figura 58: Classes de suscetibilidade a movimentos de massas

Recorrendo ao que foi citado anteriormente, vulnerabilidade corresponde à predisposição intrínseca dos elementos expostos, indivíduos, comunidades, infraestruturas, propriedades agrícolas a sofrerem danos, pessoais e materiais, devido à ação de fenómenos naturais ou antrópicas.

A vulnerabilidade está relacionada à presença das casas, da população, das infraestruturas, nas áreas sujeitas ao processo potencialmente perigoso. Este modelo na ótica de pensamento de Fernandes, (2010) pode ser debatido na medida em que só há risco se verificar um fenómeno potencialmente perigoso e elementos expostos – vulneráveis.

IV. 4.5 O risco de movimentos de massas da ilha de São Vicente.

Da sobreposição dos mapas de suscetibilidade com os elementos expostos obte-se a localização do risco. Optou-se por utilizar a sobreposição das áreas suscetibilidade elevada e muito elevada que se manifesta em São Vicente, apenas com dois elementos expostos: o edificado e as vias de comunicação. O mapa resultante (Figura 59) reflete a identificação de áreas de risco, sem contudo realizar uma avaliação quantitativa do mesmo, sendo todavia um elemento válido para o planeamento de emergência e para o ordenamento do território. Os elementos expostos localizam-se, na sua grande maioria, em áreas estáveis, de suscetibilidade baixa e muito baixa aos movimentos de massas.

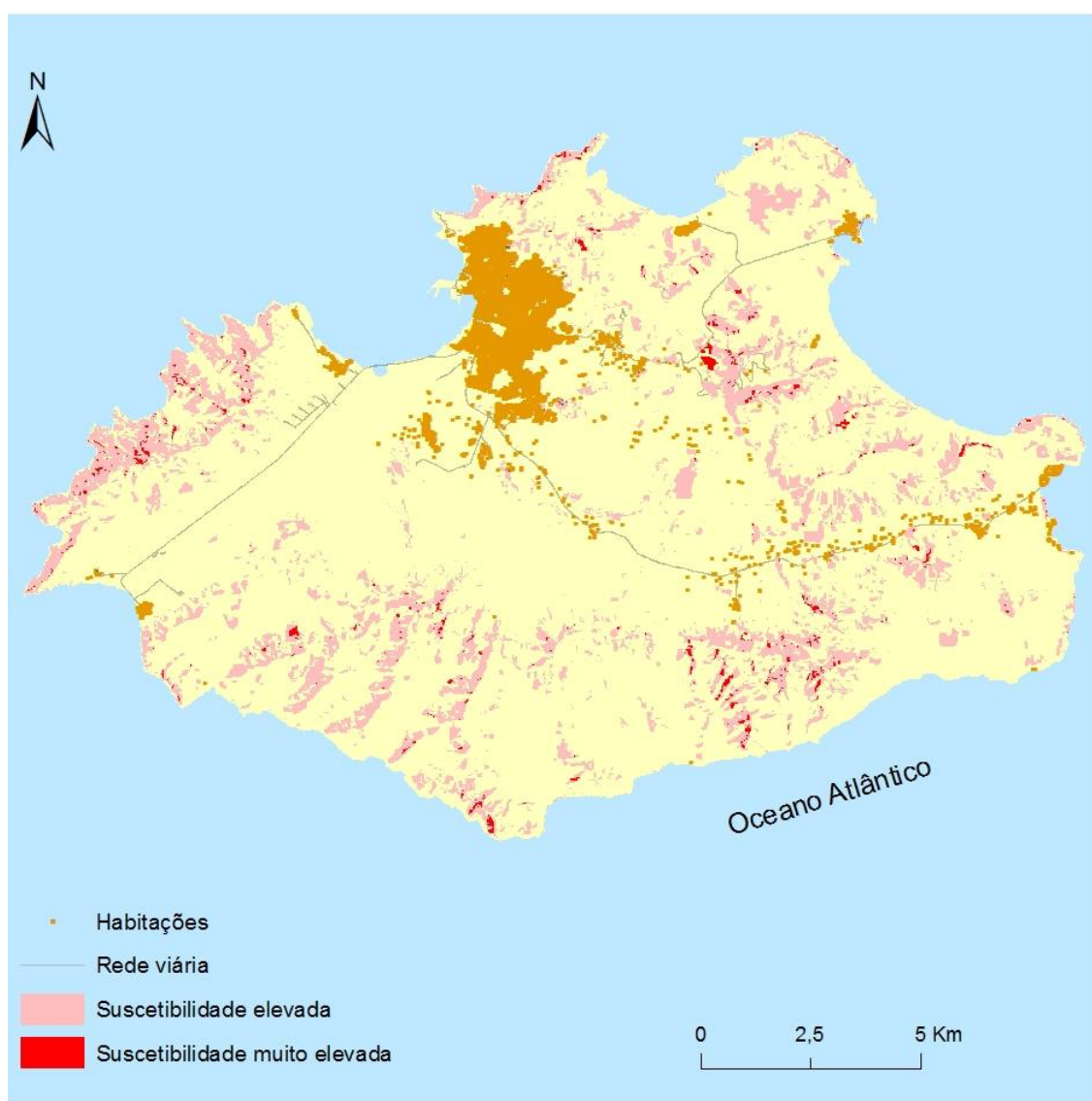


Figura 59: Localização do risco de movimentos de massas

No entanto, na classe de suscetibilidade muito elevada encontram-se cerca de 23 edifícios que representa cerca de 1% do edificado. Nas imediações das áreas de suscetibilidade muito elevada existem alguns edifícios que dada a proximidade deverão ser monitorizados pelo serviço municipal de proteção civil.

CAPÍTULO V – EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA A PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE E A SUA INTEGRAÇÃO EM ESTUDO DE CHEIAS/INUNDAÇÕES E MOVIMENTOS DE MASSAS

V. 1. Detecção Remota

São vários os autores que definem a Detecção Remota (DR). Nesta linha de pensamento, Garcia *et al.*, (2012) descreve a DR como a ciência, a técnica e inclusivamente a “arte” (segundo alguns autores) de obtenção de informação através de imagens de forma remota da superfície terrestre, sem que haja contacto direto com esta. A Detecção Remota também inclui todo o trabalho realizado *a posteriori* com estas imagens, desde o processamento à interpretação dos resultados. Já Casimiro (2002: 47) citando Sabins (1996) sublinha que “Detecção Remota é a ciência de adquirir, processar e interpretar imagens e dados relacionados, obtidos de aviões e satélites, que registam a interação entre matéria e radiação eletromagnética ”.

Deste modo, a DR consiste num conjunto de técnicas que recolhem informações sobre um objeto, uma área ou fenómeno à superfície terrestre por sensores, sem entrar em contacto com os mesmos. Esta tese é reforçada por Rocha e Morgado (2007) ao afirmarem que a origem do termo assenta, essencialmente, no facto dos objetos à superfície terrestre poderem ser caracterizados e distinguidos pela forma como refletem ou emitem a energia eletromagnética, o que constitui a condição fundamental para que exista deteção. De uma forma geral, supõe-se uma relação entre uma fonte emissora de energia, um objeto e um sensor (recetor) como constituintes duma trilogia necessária à recolha de informação por meios remotos, constituindo um meio para adquirir dados geográficos e para avaliar a sua dinâmica espacial. Ainda Carvalho (2000: 77) acrescenta que “a Detecção Remota é a técnica capaz de transformar os dados de radiância de uma cena de informações sobre os objetos ou elementos que a constituem”. (Figura 60).

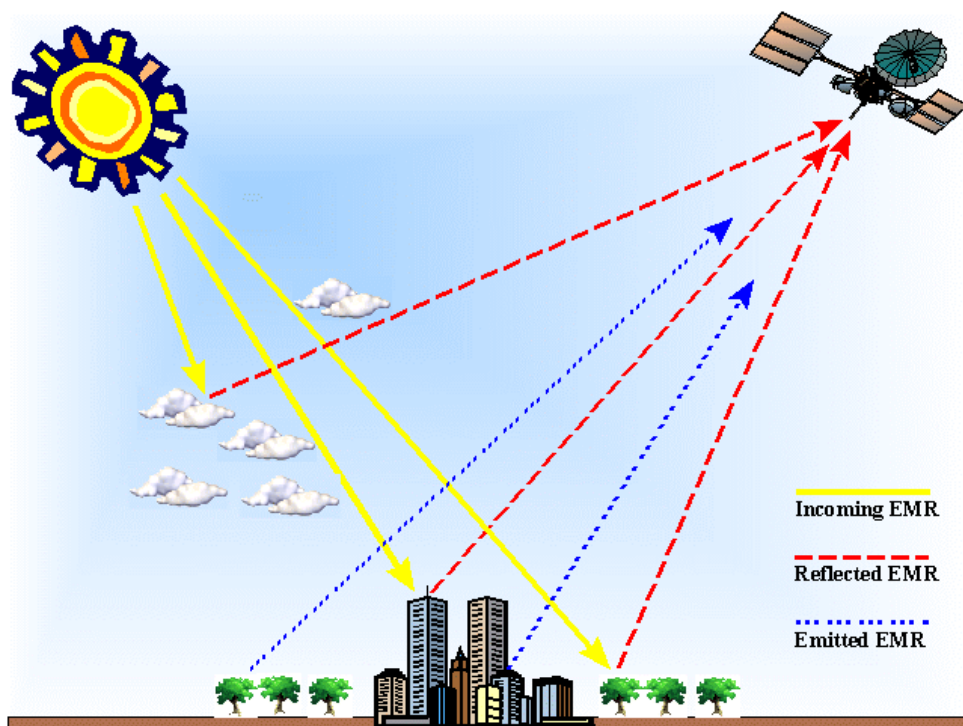


Figura 60: Princípios fundamentais da Detecção Remota.

Fonte: <http://www.geog.ucl.ac.uk/~mdisney/>

Face as definições enunciadas anteriormente, pode-se dizer que um dos objetivos desta ciência baseia-se na recolha de informação de reflectância dos corpos a superfície terrestre pelos sensores dos satélites. Esta informação é registada sob a forma numérica segundo matrizes de pixéis (ou imagens digitais). O valor de cada elemento de imagem (píxel) depende da quantidade de energia eletromagnética refletida e/ou emitida, pela área da superfície terrestre correspondente a esse píxel. A energia eletromagnética, também designada por radiação eletromagnética, é o suporte de toda a informação em deteção (Rocha e Morgado 2007).

V. 1.1. Abordagem orientada ao objeto e abordagem píxel a píxel

De acordo com Silva e Pereira (2007) a informação espectral pode ser analisada através de duas metodologias de classificação: a classificação supervisionada e a classificação não supervisionada. Na classificação supervisionada as classes são definidas *a priori* com base em informação já conhecida. Esta metodologia dispõe de alguns algoritmos de classificação, como a Máxima Verosimilhança, Paralelepípedo, Mínima Distância, Distância de Mahalanobis e a Bhattacharya. Para Gabriel (2013),

referindo Eastman (2009), o sucesso da classificação supervisionada resume-se à capacidade do classificador identificar, de forma fiável, as diferentes assinaturas espectrais extraídas a partir de um determinado conjunto de bandas espectrais.

A classificação supervisionada resume-se em quatro fases distintas: i) primeiro definição de nomenclatura, onde se estabelecem as classes de ocupação do solo; ii) treino; iii) classificação; iv) apresentação e avaliação de resultados (Rocha e Morgado, 2007).

No que concerne aos classificadores não-supervisionados, é de se referir que o processamento digital de imagens é automático. Estes classificadores requerem pouca ou nenhuma intervenção do operador na classificação da imagem. Os algoritmos comuns para este tipo de classificação são o *K-means*, Isoseg e o Isodata.

A vantagem da utilização destes classificadores assenta essencialmente na necessidade de verificar quantas classes são estatisticamente separáveis, formando *clusters*, conforme as características espectrais dos píxeis. No entanto, os *clusters* gerados podem ou não coincidir com as classes de interesse.

As classificações podem ser realizadas através da análise píxel a píxel ou orientada ao objeto. A abordagem píxel a píxel utiliza apenas a informação espectral de cada píxel para determinar a classe mais provável do píxel com base em distâncias e probabilidades (Meneses, 2012). Nesta classificação o píxel é a unidade mínima do processamento de imagem.

Por outro lado, a classificação orientada ao objeto, a unidade mínima de classificação não é o píxel, mas sim um conjunto de píxeis. Esta metodologia inicia-se com a segmentação³³ de imagem em objetos com base na informação espectral e espacial, considerando não apenas as características dos píxeis, mas também outras propriedades como a cor, a forma, a textura, a área, entre outras. Esta abordagem tem como principal característica “a extração da imagem a dimensão do objeto e da semântica (Encarnação, 2004).

³³ A segmentação de imagem é uma técnica que consiste em fragmentar a imagem, em segmentos de treino, de acordo com a homogeneidade entre os objetos, e a classificação da mesma, com base na similaridade espectral.

V. 2. Extração de Informação geográfica a partir da imagem *LANDSAT 8*.

As imagens de satélite constituem um poderoso meio de obter informação atualizada, a custos relativamente baixos, sobre as dinâmicas e mudanças que decorrem no território. O seu formato de dados permite a utilização de algoritmos de classificação automática e/ou semiautomática de forma rápida e menos dispendiosa e espectralmente mais abrangente (Rocha e Tenedório, 1998).

A classificação de imagens de satélite tem como principal objetivo associar cada píxel que compõe a imagem a uma classe de ocupação do solo com base em algoritmos de classificação. Neste sentido, procurou-se neste ponto resumir os procedimentos utilizados para a classificação das imagens como suporte a tomada de decisão.

O objetivo principal deste capítulo é extrair informação geográfica a partir do processamento digital de imagens obtidas pelo satélite *LANDSAT 8* da ilha de São Vicente (Cabo Verde), usando algoritmos de classificação de píxel a píxel (*k-Means* e Máxima Verossimilhança) e dos algoritmos de classificação de imagem por objeto (*Isoseg* e *Bhattacharya*). Geralmente, este tipo de classificação é efetuado com recurso a dados multiespectrais, tendo por base o facto de os vários objetos refletirem (ou emitirem) de forma seletiva em bandas diferentes.

Para um país como Cabo Verde, é fundamental ter presente a sua situação socioeconómica, em virtude das exigências da sociedade atual, sendo indispensável a adaptação dos *softwares* às possibilidades económicas do país. O *software* utilizado foi o *Spring 5.2.6*, este é um *software* livre (*freeware*) de fabrico brasileiro³⁴. A opção pelo programa resultou principalmente do processamento digital de imagem, onde foi necessário recorrer às funcionalidades do mesmo.

Assim, a fraca capacidade financeira em adquirir softwares comerciais, e a partilha de informação geográfica entre diversas entidades e utilizadores, são apontados como vantagens da utilização deste *software*.

³⁴ O *Spring* é um *software* que foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

V. 3. Caracterização da área de estudo e dos Dados utilizados

A área de estudo corresponde à ilha de São Vicente. A Norte destaca-se a cidade do Mindelo, que faz fronteira com a Baía do Porto Grande, que constitui o principal aglomerado populacional. Junto das principais linhas de água da ilha surge algum coberto vegetal, que pode ser agrícola ou florestal, mas a imagem não nos permite fazer esta distinção. O quadrante Este é marcado pela grande concentração de nuvens, este corresponde à parte mais alta da ilha que chega aos 735m de altitude no Monte Verde. São Vicente no seu todo é marcado por uma grande percentagem solo exposto, características reveladoras de situações de seca e de erosão acentuada do solo.

Os dados utilizados foram obtidos pelo satélite *LANDSAT 8*. Este satélite foi colocado em órbita a 11 Fevereiro de 2013, órbita a 705 km de altura e tem um período de revisita de 16 dias. *LANDSAT 8* transporta dois instrumentos: i) *Operational Land Imager (OLI)*, Sensor operacional que inclui as bandas já utilizadas em *Landsat 7* às quais acrescenta as novas bandas: *Coastal Blue*, *SWIR 1* e *SWIR 2*; ii) o *Thermal Infrared Sensor, (TIRS)*, Sensor térmico que fornece duas bandas térmicas.

A imagem utilizada (Figura 61) foi registada a 15 de Novembro de 2014. Nesse dia, o sol apresentava um ângulo azimutal de 149,7 graus e uma elevação de 48,9 m. Esta imagem possui uma resolução espacial de 30 m (reportando uma área de 900m²) no multiespectral e 15 m no pancromático e uma resolução radiométrica de 8 bits (256 níveis de cinzento). O sistema de coordenadas associado à imagem é WGS de 1984, UTM Zone 26 N (anexos 2 e 3).

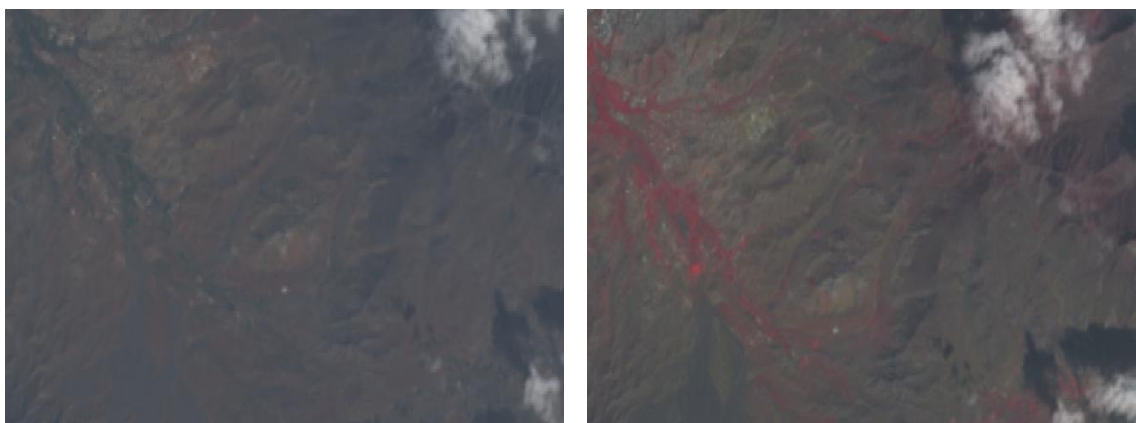


Figura 61: Imagem *LANDSAT8* em composição colorida: cor verdadeira (à esquerda) e falsa cor (à direita).

V. 4. Procedimento Geral

A Figura 62 apresenta a sequência das fases de aplicação da metodologia, bem como os processos utilizados para a criação dos ficheiros. A metodologia de classificação desenvolvida segue uma abordagem por níveis, sendo composta por três fases principais: i) pré- classificação; ii) aplicação dos classificadores, iii) aplicação de regras pós-classificação.

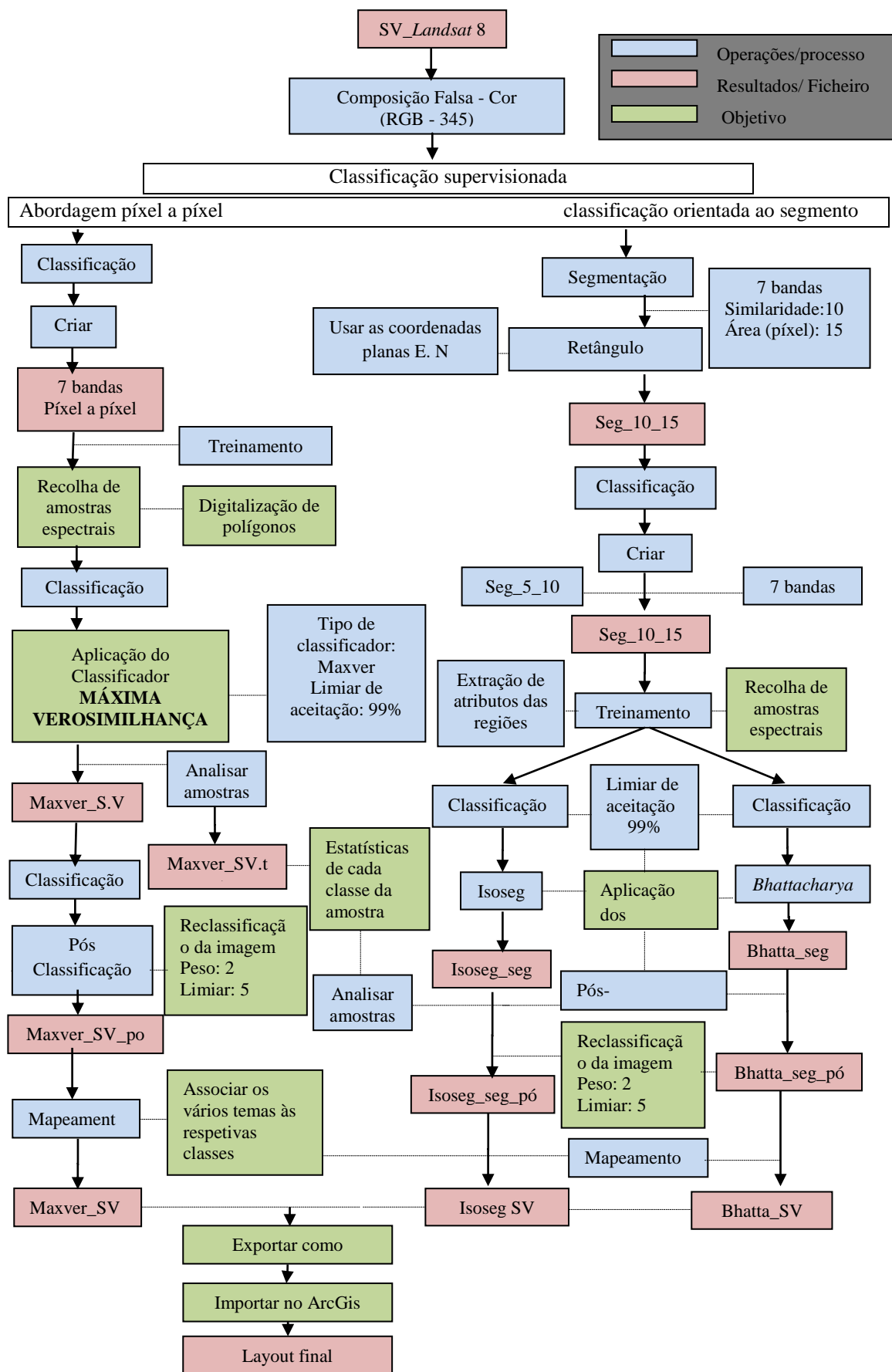


Figura 62: Fluxograma contendo os processos envolvidos na metodologia aplicada.

A classificação da imagem resultou da aplicação de duas abordagens de classificação: píxel a píxel e orientada por segmento. Para ambas as abordagens, o processo de classificação iniciou-se com a recolha de amostras espectrais a partir de uma composição de falsa cor. Esta fase do processamento é de extrema importância, pois os resultados dos classificadores são estimados através da recolha de amostras de assinaturas espectrais das áreas representativas de cada parcela teste. Para cada classe de ocupação/uso do solo foram digitalizadas parcelas teste, também denominadas de *Regions of Interest* (ROI).

Deste modo, foi possível identificar as classes de ocupação do solo, utilizando análise dedutiva, com base na cor, forma e textura dos objetos. Estas foram vetorizadas por forma a garantir a separabilidade espectral e assim obter bons resultados na classificação da imagem. Para cada classificação foi utilizada uma nomenclatura estruturada em 7 categorias: áreas urbanas, vegetação, solo exposto, água, materiais arenosos, nuvens e sombra.

O classificador por Máxima Verosimilhança aplicado na abordagem píxel a píxel considera a ponderação das distâncias entre médias dos valores dos pixéis das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Este classificador avalia a probabilidade de um determinado píxel pertencer a uma categoria, à qual ele tem maior probabilidade de associação (Queiroz *et al.*, 2004). Como referido anteriormente, na abordagem baseada na classificação píxel a píxel, do tipo supervisionada, as operações contidas são semiautomáticas, traduzindo assim um maior envolvimento por parte do operador.

Para a classificação orientada a objeto, o processo passou por quatro etapas metodológicas. Este processo iniciou-se com a segmentação de imagem em objetos e seleção dos exemplos de amostras, definiu-se as classes de interesses, o cálculo dos atributos espectrais, de textura e de forma e a aplicação dos algoritmos de classificação Isoseg³⁵ e Bhattacharya. O Bhattacharya um classificador supervisionado por regiões, que utiliza a distância Bhattacharya para medir a separabilidade estatística entre cada par de classes espectrais. A separabilidade é calculada através da distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais (Leão *et al.*, 2007).

³⁵ O Isoseg, classificador não supervisionado, é um algoritmo que procura agrupar regiões a partir de atributos estatísticos de média, matriz de covariância e área a partir de uma medida de similaridade entre elas, a partir da distância Mahalanobis entre a classe e as regiões candidatas a relação de pertinência com esta classe (Korting, 2006), citados por Oliveira e Mataveli (2013).

V. 4.1 Segmentação e classificação de Dados de satélite

Para que possa ser executada uma classificação semiautomática de uma imagem de satélite orientada por objeto é necessário fragmentar a imagem em segmentos, tendo como critério a tolerância relativa à similaridade espectral e a área. Esta ideia é sublinhada por Gão (2009), citado por Meneses (2012) ao afirmarem que a segmentação consiste na decomposição de uma imagem em regiões discretas, contíguas e que não se intercetam, constituindo segmentos significativos.

De seguida são apresentados os ficheiros de segmentação que foram gerados. A imagem de base que foi utilizada para segmentar a imagem foi a composição colorida de falsa cor, tendo sido experimentadas, várias tolerâncias conforme mostra o Quadro 21. A tolerância com valor 10 para a similaridade e a área com valor 15 foi a combinação de parâmetros que produziu resultados mais ajustados à realidade de terreno (Figura 63).

Quadro 21: Testes de segmentação

Satélite	Testes	Bandas	Similaridade	Área (pixéis)	Observações
<i>Landsat8</i>	Seg_5_10	3,4,5 (RGB)	5	10	Aumenta a exatidão e parte a reflectância
<i>Landsat8</i>	Seg_10_15	3,4,5 (RGB)	10	15	Boa exatidão e boa separação dos objetos
<i>Landsat8</i>	Seg_10_20	3,4,5 (RGB)	10	20	Esta produziu resultados satisfatórios, mas ainda agrupa objetos diferentes
<i>Landsat8</i>	Seg_25_50	3,4,5 (RGB)	25	50	A exatidão vai diminuído visto diminui a separação espectral
<i>Landsat8</i>	Seg_50_100	3,4,5 (RGB)	50	100	Exatidão baixa e separação espectral também
<i>Landsat8</i>	Seg_100_200	3,4,5 (RGB)	100	200	Exatidão baixa e separação espectral também

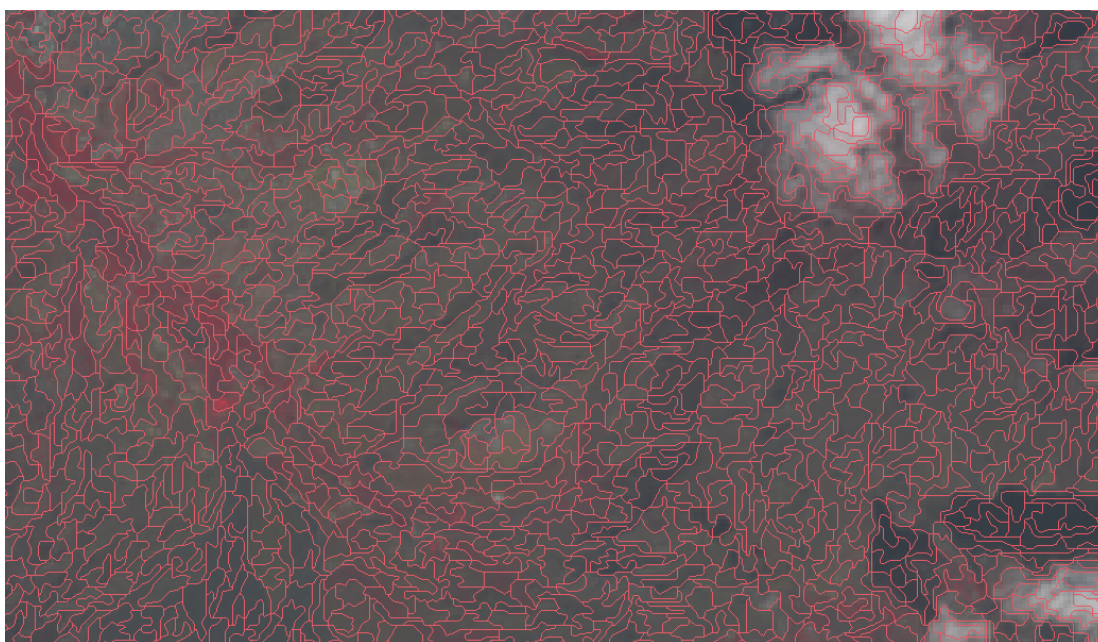


Figura 63: Segmentação com similaridade 10 e área píxel 15

V. 4.2 Recolha de áreas de treino

Nesta etapa do trabalho fez-se a seleção dos segmentos que serviriam de amostra para a classificação, na qual cada classe deveria ter um conjunto de segmentos de aquisição contendo um mínimo 700 píxéis, de modo a obter-se resultados estatisticamente significativos.

Realizou-se a recolha de amostras para cada classe e para cada tipo de segmentação. Resultaram dois ficheiros com as amostras espectrais, um para cada combinação de parâmetros de segmentação. A recolha de dados de treino píxel a píxel procedeu-se fazendo a digitalização dos polígonos, recolhendo às amostras para cada classe de ocupação do solo desejada.

A recolha de amostras espectrais foi realizada utilizando como imagem de referência a composição de falsa cor, o ficheiro de segmentações e o ficheiro de amostra (píxel a píxel) em que foi possível interpretar e distinguir os objetos no terreno através das cores existentes. Sublinhe-se que as classes “nuvens” e “sombra” não foram recolhidas para o objetivo final do trabalho. Dado que a quantidade desses dois elementos na imagem seriam importantes procedeu-se às respetivas recolhas e numa fase posterior, e com ajuda do *Google Earth* e reconhecimento do terreno, fizeram-se as devidas correções.

V. 4.3 Classificação Semiautomática

Para a execução das classificações, utilizou-se apenas uma sub-imagem. Para tal, fez-se um recorte do plano de informação, através do retângulo envolvente e utilizando as bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Os ficheiros de amostras de cada classe são os ficheiros responsáveis, em parte, pela maior ou menor precisão dos classificadores semiautomáticos, pois se a amostra tiver uma grande quantidade de píxel que não corresponde a uma determinada classe, essa amostra irá transmitir ao classificador informações erradas e, por consequência, resultará numa imagem mal classificada.

Os classificadores utilizados foram Máxima Verosimilhança, para a classificação píxel a píxel. Para a segmentação foram aplicados Isoseg, e *Bhattacharya*. Também para a segmentação recorreu-se às seguintes tolerâncias para a similaridade espectral: 5, 10, 25, 50 e 100. De referir o que produziu resultados mais satisfatórios para o projeto foram os seguintes valores: tolerância 10 e área 15.

V. 4.4 Mapeamento

No mapeamento da imagem resultante do classificador Isoseg (Figura 62) associamos 16 temas a 7 classes de ocupação do solo: áreas urbanas, vegetação, rocha e solo a exposto, água, materiais arenosos, sombra e nuvens.

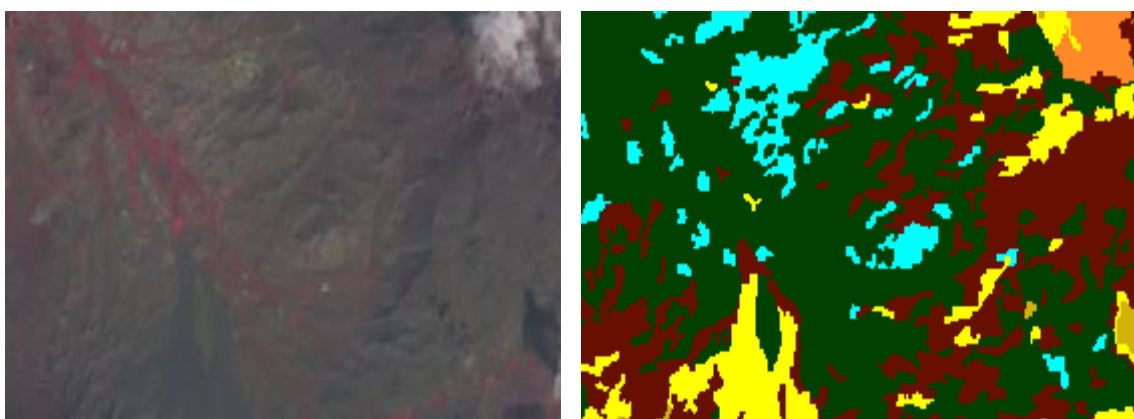


Figura 64: Mapeamento do classificador Isoseg

Relativamente ao mapeamento da imagem resultante do classificador *Bhattacharya* (Figura 64) verificou-se que alguns píxéis não tinham valor atribuído. Considerando o limiar de aceitação, o classificador não conseguiu incluir esses píxéis

em nenhuma das classes, tendo-se procedido à referida correção incluindo os pixéis sem valor na sua classe correspondente, ou seja, na classe de solo exposto.

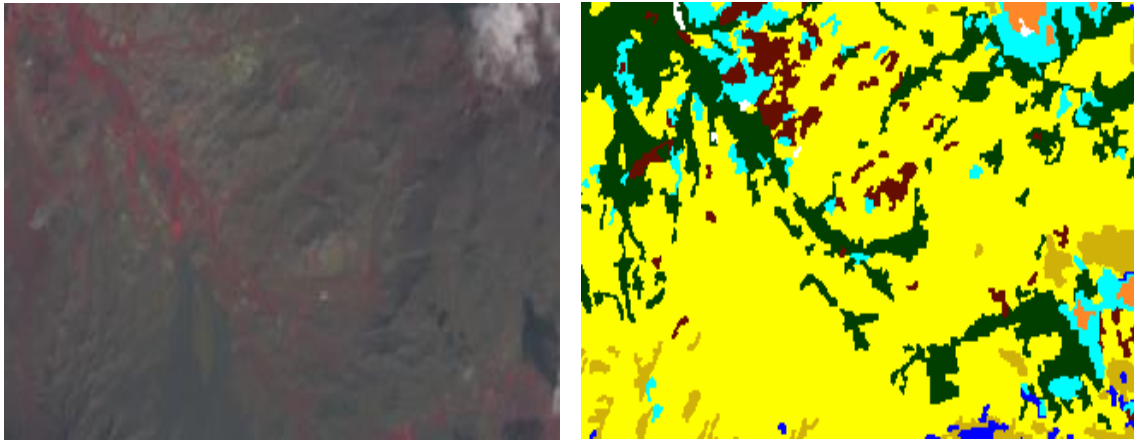


Figura 65: Mapeamento de Bhattacharya

Pela análise do mapa resultante do classificador Máxima Verosimilhança (Figura 66) entende-se que é o que melhor representa a ocupação atual do solo. Pode-se observar que este classificador distinguiu bem as classes de ocupação do solo.

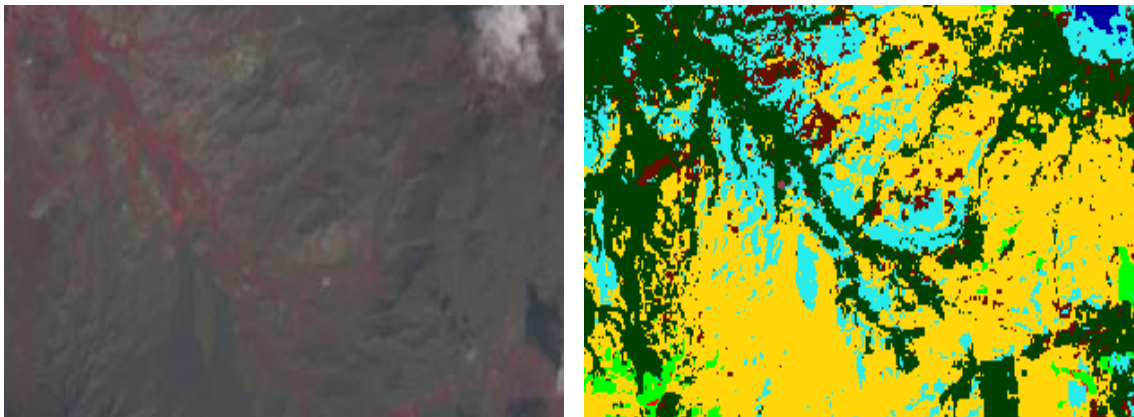


Figura 66: Mapeamento do classificador Máxima Verosimilhança

V. 5. Resultados Finais

Na Figura 67 que é apresentada de seguida constatou-se que a cor que tem como tonalidade o vermelho (na falsa cor) indica a quantidade de clorofila registada que corresponde às classes de vegetação. É importante referir que, o material arenoso, por vezes, foi confundido com a classe de áreas urbanas, facto que resulta da sua grande similaridade espectral.

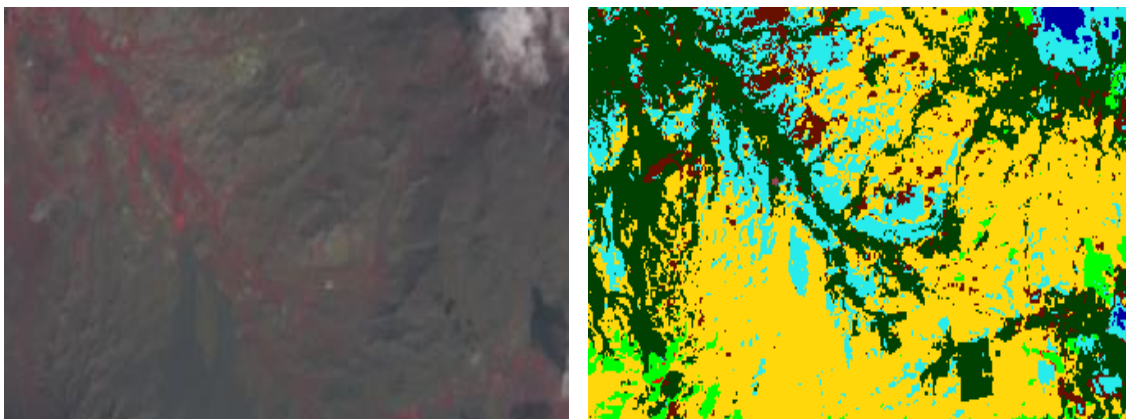


Figura 67: Resultado da aplicação do classificador Máxima Verosimilhança

O resultado final (Figura 67) do classificador de Máxima Verosimilhança é aquele que melhor discrimina as classes de ocupação do solo, ou seja, apresenta uma melhor diferenciação entre as coberturas do solo. As classes de nuvens e solo exposto foram bem identificadas na ótica do produtor, mas as classes de água e vegetação tiveram desempenhos mais baixos.

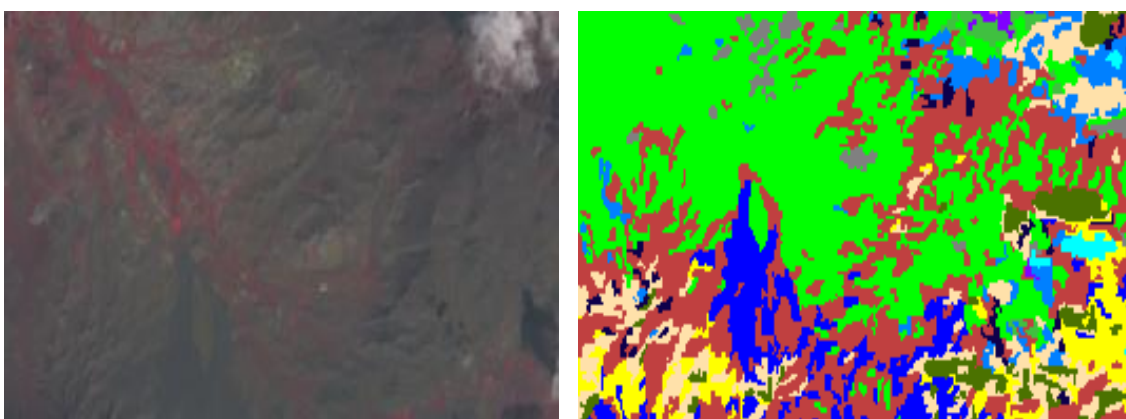


Figura 68: Resultado da aplicação do classificador IsoSeg

Os mapas produzidos pelos classificadores da segmentação (Isoseg e Bhattacharya) são mais generalizados (Figuras 68 e 69).

No que diz respeito ao classificador Bhattacharya do ponto de vista estatístico é um bom classificador, já a nível temático o desempenho já não foi muito bom. Na Figura 69 verifica-se pixéis que pertencem à classe do urbano, classificados como solo a descoberto.

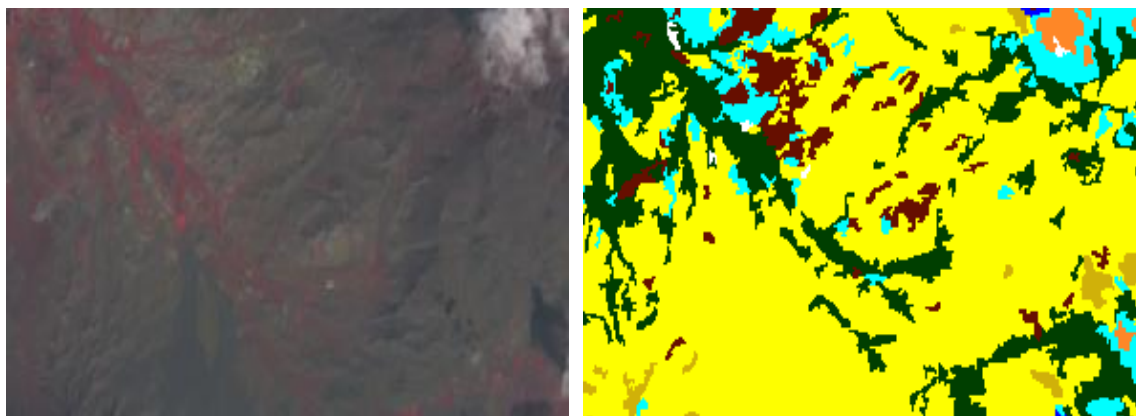


Figura 69: Resultado da aplicação do classificador Bhattacharya

V. 5.1 Análise estatística dos resultados das classificações

No sentido de comparar as duas classificações produzidas avaliou-se a qualidade das mesmas. Na classificação píxel a píxel a dimensão da amostra foi de 9551 pixéis, enquanto na classificação orientada ao segmento a dimensão da amostra foi de 7306 pixéis (Quadro 22).

Quadro 22: O classificador do Bhattacharya

Classes	Nuvens	Áre. urb.	Solo exp.	Veget.	Mat. Are.	Água	Sombra	Abst	Total
Nuvens	0,47	0	0	0	0	0	0	0	913
Urbana	0	0,55	0	0	0	0	0	0	1068
Solo exp.	0	0	0,63	0	0	0	0	0	1210
Veget.	0	0	0	0,56	0	0	0	0	1083
Mat. Are.	0	0	0	0	0,63	0	0	0	1205
Água	0	0	0	0	0	0,42	0	0	816
Sombra	0	0	0	0	0	0	0,53	0	1011
Total	821	799	1412	1008	1184	816	484	0	7306

Quanto à classe água, 14% dos pixels foram classificados na classe de sombra. Ou seja, 13 pixels da classe água foram incluídos na classe de sombra. Esta confusão pode ser justificada pela similaridade espectral entre os sedimentos, a água e a sombra.

Na classe áreas urbanas existe uma confusão, este erro pode ser aceite devido ao facto destas três classes possuírem pixels com reflectâncias espectrais muito similares. Em determinados locais surgem rochas com cor claras que são espectralmente próximas do designado por áreas urbanas.

A classe de solo exposto apresenta uma grande confusão com a classe de sombra, 89%. Esta confusão seria de esperar, porque em determinados locais, aparece a sombra das rochas que apresenta a mesma reflectância com rochas muito escuras (Quadro 23).

Quadro 23: O classificador da Máxima Verosimilhança

Classes	Área urb.	Veget.	Solo	Mat. are	Água	Nuvens	Sombra	Abst.	Total
Áreas urb.	1305 / 13,66	26 / 0,27	57 / 0,60	57 / 0,60	0	0	0	0	1445
Veget.	12 / 0,13	1533 / 16,0	11 / 0,12	15 / 0,16	0	0	0	0,08	1579
Solo exp.	9 / 0,9	1533 / 16,0	11 / 0,12	15 / 0,16	0	0	85 / 0,89	0	1488
Mat. are	126 / 1,32	4 / 0,04	5 / 0,05	615 / 6,44	0	43 / 0,45	0	4 / 0,04	797
Água	0	0	0	0	632 / 6,62	0	13 / 0,14	32 / 0,34	677
Nuvens	0	0	0	44 / 0,46	0	2337 / 24,47	0	0	2381
Sombra	0	8 / 0,08	24 / 0,25	15 / 0,16	15 / 0,16	0	1118 / 11,71	4 / 0,04	1184
Total	1452	1584	1474	749	648	2380	1216	48	9551

Com base neste processo de avaliação, elaborou-se uma matriz de erros (Quadros 24 e 25) para aferir a qualidade das classificações. A partir da matriz de erros foram calculadas diversas medidas de qualidade, como a precisão do produtor, a precisão do utilizador, o desempenho global e o índice Kappa. Neste processo, há a comparação entre a verdade no terreno e os resultados obtidos com a classificação digital. Na matriz de erros pode-se avaliar os pixels corretamente classificados, bem como os erros de comissão e de omissão, Silva e Pereira (2007) citando Matsukuma (2002).

Quadro 24: Bhattacharya

Desempenho geral	100,00%
Confusão média	0,00%
Abstenção média	0,00%
Estatística KHAT	100,00%
Variância KHAT	0.000e+000
Estatística TAU	100.00 %

Quadro 25: Máxima verosimilhança

Desempenho geral	93,36%
Confusão média	6,14%
Abstenção média	0,50%
Estatística KHAT	92,07%
Variância KHAT	9,16E-03
Estatística TAU	92,26%

O mapa que melhor descreve a ocupação do solo, usando as 7 classes definidas na nomenclatura adotada, é o produzido pelo classificador ao nível do píxel (máxima verosimilhança). O classificador de máxima verosimilhança obteve um KHAT de 93,36% (muito boa concordância) face aos 100% (concordância total) do classificador orientado ao segmento (Bhattacharya). Para diminuir esta confusão média realizou-se uma segunda classificação com o mesmo tipo de classificador mas com outro limiar de aceitação, de 99%, o que permite que 1% dos pixéis classificados com algum tipo de confusão, sejam excluídos e o resultado final seja a obtenção de uma imagem com melhor qualidade.

Os valores referentes ao classificador Bhattacharya apresentam um desempenho de cerca de 100%, uma confusão média de cerca de 0% e uma abstenção de 0%, ou seja, classificou todos os pixéis e não apresenta confusão, o que significa que o classificador fez uma boa associação dos pixéis às respetivas classes.

A classe de materiais arenosos com um valor de 82,11% foi a que apresentou mais problemas do ponto de vista do utilizador. Realmente esta classe precisava de maior rigor a quando da recolha das amostras de treino. A classe de material arenoso faz uma confusão espectral com o solo exposto em cerca de 45% dos pixéis recolhidos. Ou seja, 43 pixéis desta classe estão incluídos na classe de solo exposto e 126 pixéis desta classe estão incluídos dentro das áreas urbanas. Isto pode ser justificado devido à similaridade espectral destas classes, o que induziu o classificador a erro. Contudo esta situação, possivelmente, poderia ser evitada com uma outra imagem de outra época do ano (verão) e de outra data ou também com outra resolução.

O valor mais elevado da exatidão do produtor é de 98,19% na classe de nuvens e mais baixo no material arenoso 82,1% o que significa que a reflectância espectral das

nuvens não se confunde com as reflectâncias espectrais das outras classes (quadro 26 e 27).

Quadro 26: Bhattacharya

Classe	Exatidão do produtor	Exatidão do usuário
Nuvens	100%	100%
Área urb.	100%	100%
Solo exp.	100%	100%
Veget.	100%	100%
Mat. are	100%	100%
Água	100%	100%
Sombra	100%	100%

Quadro 27: Máxima Verosimilhança

Classes	Exatidão do produtor	Exatidão do usuário
Áreas urb.	89,88%	90,31%
Veget.	96,78%	97,58%
Solo	93,42%	92,54%
Mat. are	82,11%	77,55%
Água	97,53%	97,98%
Nuvens	98,19%	98,15%
Sombra	91,94%	94,75%

Nas classificações píxel a píxel, com dados deste tipo, deparou-se com o problema dos pixéis mistos, ou seja, pixéis que registam a mesma informação espectral de cobertos diferentes. Enquanto na abordagem orientada ao segmento para extração de informação a partir do processamento digital da imagem, com esta resolução, constamos que quando baixamos a tolerância da similaridade, o nível de pormenor aumenta, o que contribui para uma maior separabilidade espectral. Por outro lado, também, verificou-se que se baixar a tolerância em demasia parte a reflectância do mesmo objeto, (similaridade 5 e área 10).

Ao avaliar a qualidade dos mapas produzidos por ambas as abordagens pode-se concluir que a classificação ao nível do píxel, utilizando o classificador da Máxima Verosimilhança, produziu os melhores resultados (Figura 70) do que o classificador do Bhattacharya (Figura 71). De uma forma geral o classificador da Máxima Verosimilhança é o mais indicado para a imagem em estudo.

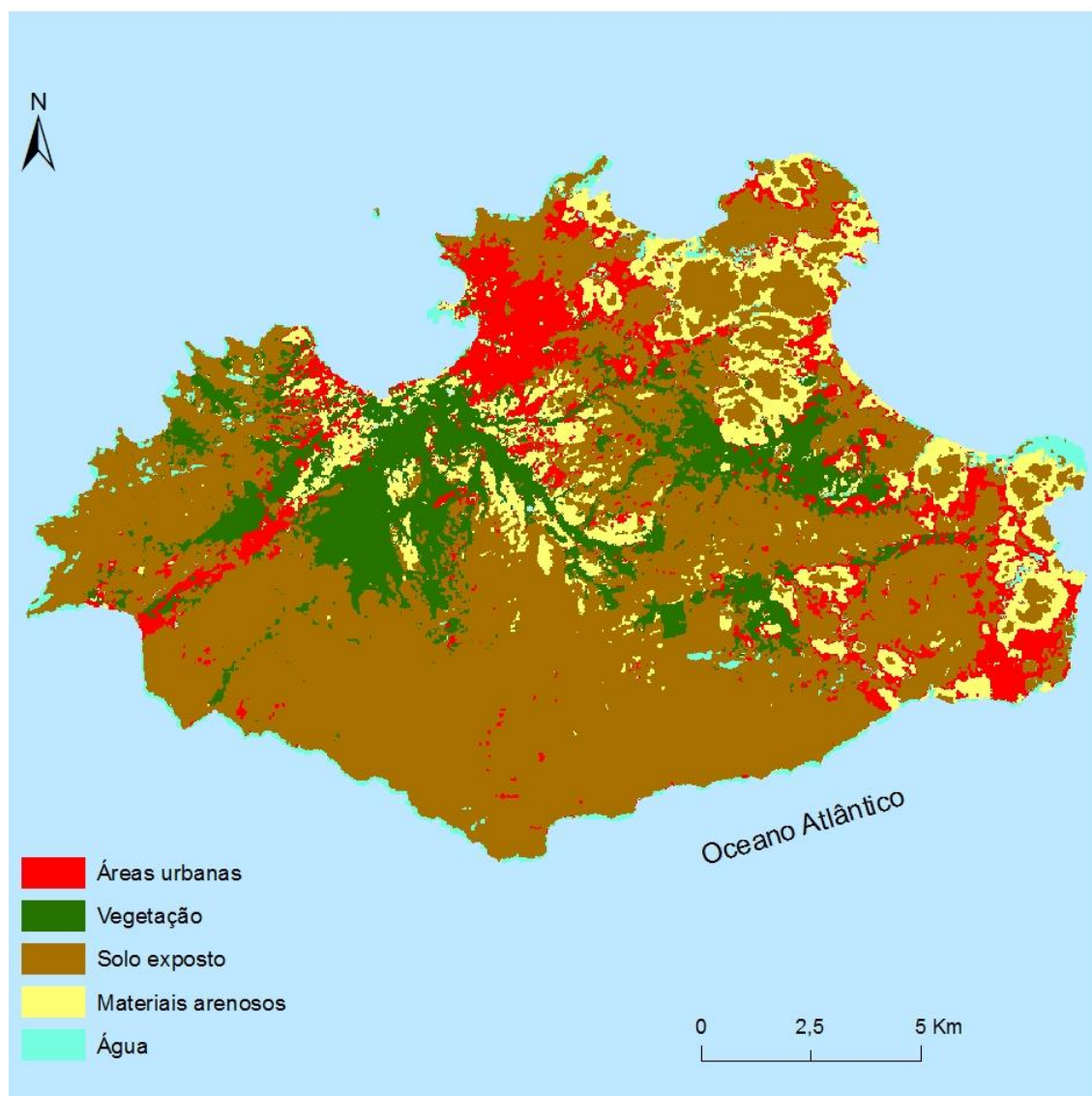


Figura 70: Classificador de Máxima Verossimilhança

O classificador por Máxima Verossimilhança é o que apresenta melhores resultados para a classificação píxel a píxel, pois adapta-se muito bem a paisagens heterogêneas de elevada complexidade espectral. Esta classificação é executada, como já foi referido anteriormente, em função da densidade de probabilidade de pertença a um tema, possibilitando, assim, definir probabilidades iguais ou diferenciadas delimitadas *a priori* para cada classe.

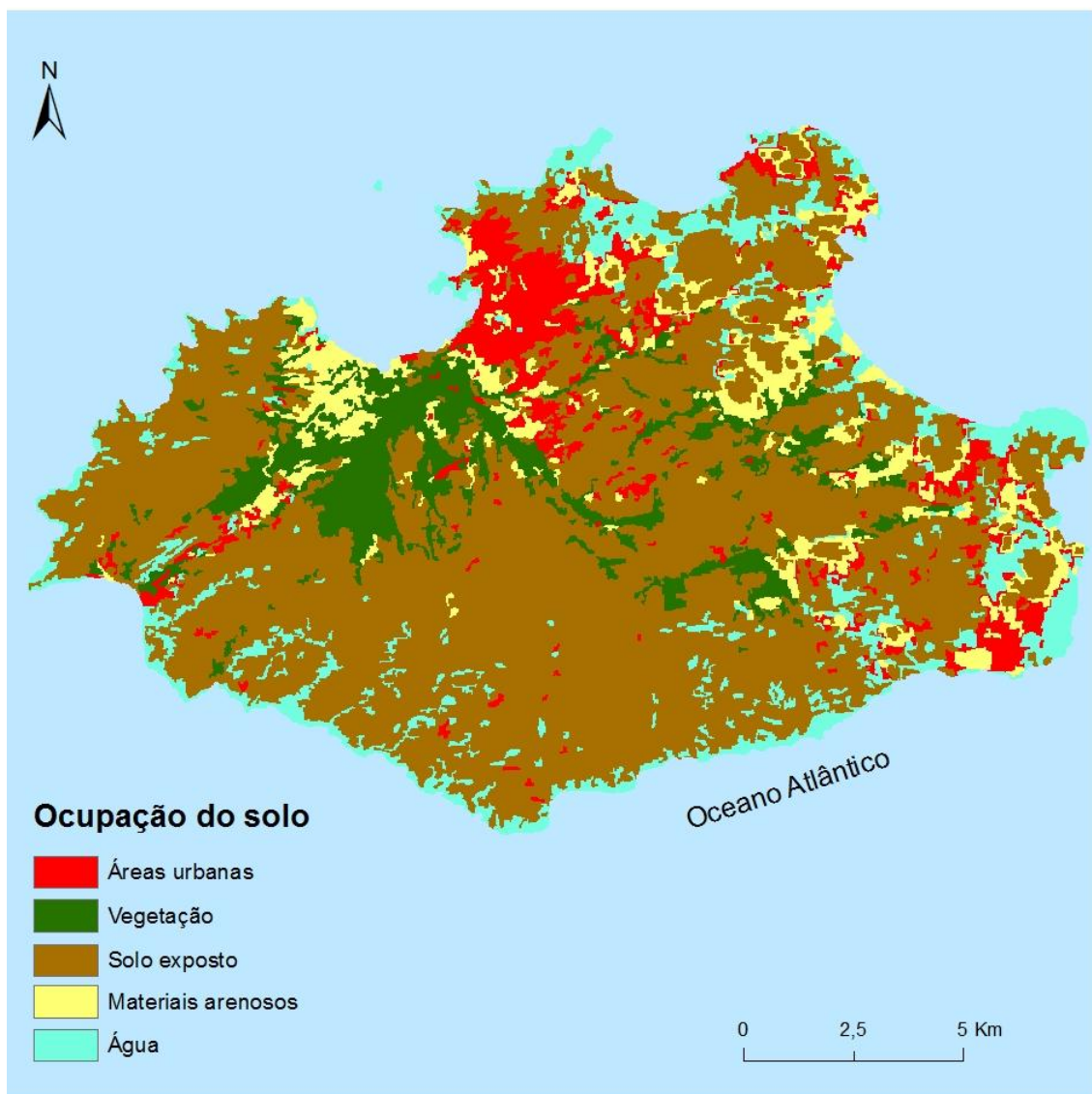


Figura 71: Classificador Bhattacharya

A imagem classificada no projeto, cujas intervenções se baseiam na classificação de ocupação do solo, deve incorporar igualmente o Plano Diretor Municipal (PDM) e o Esquema Regional de Ordenamento do Território (EROT) de modo a complementá-los e a enriquece-los. Este complemento ao PDM e ao EROT é importante para prevenir eventuais situações de risco e perdas humanas ou materiais, bem como salvaguardar a valorização dos recursos e valores ambientais, de forma a garantir a sustentabilidade do território. Então o uso do solo vem proporcionar um auxílio capaz de delimitar de melhor forma o território.

V. 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do contributo dado pelas ferramentas SIG em todas estas aplicações apresentadas ao longo deste projeto, onde se evidenciaram as suas potencialidades, estas devem ser encarados como técnicas fundamentais para o apoio à gestão e tomada de decisão. A importância destas tecnologias deveriam orientar os autores também para a estreita relação dos seres humanos com o planeamento e o ordenamento do território, o que implica uma mudança de atitudes e de comportamento da sociedade civil em relação ao Meio. Já da sociedade civil, aos técnicos, académicos e políticos exige-se uma atitude preventiva e não reativa.

Em síntese, este estudo permite pensar que existe a necessidade de quantificar os registos de consequências negativas dos fenómenos naturais, para os aglomerados urbanos, em áreas de risco. Cada vez mais surge a necessidade de identificar as áreas de maior perigosidade e vulnerabilidade, de modo a permitir a elaboração da cartografia do risco.

No sentido de demonstrar a utilidade dos SIG aplicados ao estudo de cheias/inundações e movimentos de massas, há que realçar a modelação e análise espacial, como também o conhecimento ou trabalho de terreno como indispensáveis na gestão de fenómenos naturais perigosos. Os levantamentos de terreno (fotografias aéreas), a várias escalas espaciais e temporais também são recursos de extrema relevância neste estudo.

As consequências negativas decorrentes da utilização desordenada do território pode ter repercussões comprometedoras a médio e a longo prazo, sobretudo em áreas mais sensíveis que se evidenciam a quando da ocorrência de um evento danoso. Sendo assim, torna-se indispensável incluir as tecnologias de informação geográfica no ordenamento do território e gestão dos riscos naturais. Esta integração permite espacializar, prever ou simular cenários, de modo a prevenir e a reduzir os efeitos negativos sobre as populações.

A monitorização, evolução e avaliação de fenómenos naturais perigosos (cheias/inundações e movimentos de massas), o controlo das áreas de maior risco, os serviços de alerta às populações, afiguram-se como um possível caminho indicado no auxílio à resolução de problemas complexos no território. Estes são alguns exemplos da demonstração das capacidades dos SIG, mas também ilustram a versatilidade desta

ferramenta nos domínios do ordenamento do território, conservação da natureza e gestão dos recursos e riscos naturais.

São necessários mais estudos sobre o ordenamento do território que incorporem os SIG e que abordem esta temática noutras perspetivas, incluindo outros procedimentos, não só que permitam analisar os erros do passado, como também permitam lançar um olhar sobre o futuro e lançar pistas de análise para futuros estudos. Esta análise surge numa altura em que a gestão dos riscos faz parte da atualidade, na sequência da verificação de erupções vulcânicas, sismos, tempestades tropicais, erosão costeira e hídrica com danos materiais e humanos que se contabilizam de avultadíssimos.

A gestão dos riscos no Quadro do ordenamento do território exige uma perceção cultural, económica e política dos fenómenos envolvidos, pelo que qualquer mapa de apoio elaborado deve ser baseado num contexto entre a capacidade técnica e o conhecimento do espaço em análise. Assim, a gestão do risco torna-se um processo multidisciplinar que envolve ou deve envolver investigadores, planeadores, população, e organizações.

O estudo das cheias/inundações e movimentos de massas no arquipélago de Cabo Verde, mais precisamente na ilha com recurso às tecnologias de informação geográfica, pode constituir uma via indispensável para a gestão destes eventos perigosos. Como foi referido ao longo desta investigação os sistemas de informação geográfica justificam-se pela sua capacidade de aquisição, integração, manipulação, visualização da informação espacial que são fundamentais na ajuda e apoio à tomada de decisão e na gestão de risco de cheias/inundações e movimentos de massas.

A ocupação do solo na ilha de São Vicente durante muito tempo fez-se sobretudo de forma espontânea e informal, isto é, sem respeitar as normas dos instrumentos de gestão territorial. Esta situação contribuiu assim para o surgimento de bairros desordenados nas periferias da cidade do Mindelo em áreas propensas às cheias/inundações e movimentos de massas.

Para além das construções em leitos de cheia, as áreas de desembocadura de linhas de água, a falta de construção de mais infraestruturas pluviais como canais de escoamentos, bem dimensionados e coletores pluviais, e a falta de limpeza destas infraestruturas pluviais. Ainda a ausência do coberto vegetal e a impermeabilização dos solos principalmente com betão e asfalto, são apontados como fatores agravantes das cheias/inundações na ilha.

As cheias/inundações têm provocado alguns prejuízos junto das populações, como destruição de habitações e postos de eletricidade, obstrução de caminhos e vias de acesso. Muitas vezes durante a época das chuvas estas vias são interditas dificultando a entrada de veículos, pois há destruição das vias pelas cheias.

Através da análise quantitativa das componentes biofísicas das bacias hidrográficas foi possível determinar quais as bacias mais propensas à manifestação de cheias/inundações. Pode-se compreender a espacialização da suscetibilidade e do risco por bairro, de onde se destaca o bairro de Vila Nova /Lombo Tanque. Perante esta situação existente, uma das medidas pode passar pela proibição de novas construções em zonas de suscetibilidade elevada, ou adaptar as construções aos fenómenos identificados nos respetivos locais. Em entrevista ao programa Biosfera da Rádio Televisão Portuguesa (RTP2) do dia 2 de Fevereiro de 2014³⁶, acerca do tema de riscos costeiros, o professor José Luís Zêzere (Centro de Estudos Geográficos – CEG-UL) afirmava que “a forma de começar a resolver o problema é impedir que se construa mais nestes sítios, portanto, é mais complicado retirar as casas e as pessoas que já lá estão, mas é mais fácil do ponto de vista político impedir que se continue a construir nestas zonas de risco, isso é uma questão política, uma opção”.

A construção de uma base de dados para a temática em análise com a inventariação de outros fenómenos naturais (erupções vulcânicas, sismos e erosão costeira) que atuam sobre o território poderá ser uma boa solução para o planeamento de emergência na ilha de São Vicente. Outra iniciativa poderia ser a cooperação entre instituições ou países, através de criação de plataformas *Web* onde destacou-se a Esri Portugal a auxiliar o Serviço Nacional de Proteção Civil (SNPC) de Cabo Verde a monitorizar o Furacão Fred, evento meteorológico que afetou o arquipélago na segunda-feira 15 de novembro de 2015. O coordenador da Esri para o Mercado de Cabo Verde, Nuno Coelho, afirmava ao jornal A Semana do dia 4 de Setembro de 2015³⁷ “a tecnologia *ArcGIS* suportou a recolha dos danos da passagem do furacão e permitiu a integração com as diversas entidades no terreno. O trabalho de centralização da informação permitiu registar as situações, gerir ocorrências reportadas e ainda aceder a um resumo das operações, direcionado tanto à população, como aos meios de

³⁶ Cf. <https://www.youtube.com/watch?v=snFDfuhrKnE> [Acedido em 25 de Janeiro de 2015]

³⁷ O A Semana *online* noticiava assim ESRI Portugal apoia Proteção Civil na monitorização de catástrofes Cf. <http://asemana.sapo.cv/spip.php?article112736> [Acedido em 25 de Janeiro de 2016]

comunicação social”. O responsável defendia ainda que esta tecnologia “é uma plataforma inovadora e versátil, e permitiu criar sinergias para que a Proteção Civil e outras entidades envolvidas pudessem dar uma resposta mais rápida e mais eficaz”. Nuno Coelho destacava a importância do trabalho desenvolvido com a SNPC e o seu impacto no futuro “a recolha de dados com a componente geográfica e imagens associadas permite o armazenamento da informação necessária para uma análise detalhada, pós Furacão, abrindo-nos as portas para conseguirmos lidar com situações semelhantes que possam acontecer no futuro”.

Torna-se fundamental debater esses temas com a população local no sentido de sensibilizá-la de forma a criar junto dela um pensamento crítico, de modo a se preparar para eventuais situações de risco. A diminuição da vulnerabilidade da população passa necessariamente pela criação de uma consciência de risco, permitindo que a população seja capaz de organizar-se, antes, durante e depois de um fenómeno natural extremo.

Com este estudo pretende-se demonstrar a necessidade de orientar as decisões para novos modelos de ordenamento do território que permitam afastar as populações e as suas atividades de áreas perigosas, minimizando assim os seus impactos, perante a atualidade da prevenção de riscos ao nível nacional e numa fase de revisão dos Planos Municipais de Ordenamento do Território e dos Planos Municipais de Emergência.

Existe cada vez mais a tomada de consciência por parte das pessoas das instituições com competência nestas matérias. Neste contexto, esta investigação pretende despertar a sociedade civil para a importância de aprofundar o conhecimento sobre os perigos naturais que afetam o território, tendo como objetivo minimizar os seus efeitos e salvaguardar os interesses e a qualidade de vida das populações, auxiliando, neste contexto, a tomada de decisões.

A presente investigação pretende ser um trabalho de pesquisa com um carácter de continuidade e que poderá servir como um *input* de um trabalho exploratório que sirva de base a um ainda maior aprofundamento destas temáticas.

Quanto à extração de informação geográfica a partir de imagens de satélite recorreu-se ao uso dos métodos de classificação semiautomáticos com a finalidade de extrair as classes de ocupação do solo e posteriormente a sua integração no estudo. A imagem classificada no projeto deve incorporar igualmente os Instrumentos de Gestão Territorial (IGT) de modo a complementá-los e a enriquece-los. Este complemento aos IGT é importante para prevenir eventuais situações de risco e perdas humanas ou materiais, bem como salvaguardar a valorização dos recursos e valores ambientais, de

forma a garantir a sustentabilidade do território. Então o uso do solo vem proporcionar um auxílio capaz de delimitar de melhor forma o território.

BIBLIOGRAFIA

- Amaral, Ilídio (2007). *Santiago de Cabo Verde, a Terra e os Homens*. Lisboa, Associação das Universidades Portuguesas, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, UniCV, Universidade do Algarve, IICT.
- Bebiano, J. B. (1932). *A geologia do Arquipélago de Cabo Verde*, Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal. XVIII, Lisboa, 1-25.
- Birkmann, J., (2006). *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies*. United Nations University, 1-14.
- Brunetti, R.; Guzzetti, F. & Rossi, M. (2009). Probability Distributions of Landslide Volumes. *Nonlinear Processes in Geophysics*, Vol. 16, Italy, 179-188.
- Burn, D. (1999). *Perceptions of flood risk: A case study of Red River of 1997*, water Resour. Res., 35 (11), 3451-3458.
- Burrough, P. A. Mc Donnell R. A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford, U. K., Clarendon Press, 11.
- Brito, A. e Semedo, J. (1995). *Nossa terra, nossa gente*. Introdução à Geografia de Cabo Verde, PFIE, Praia.
- Carvalho, M.; De Pina, M.; Santos, M. & Simone, M. (2000). *Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia Aplicados a Saúde*. 20ª Edição, Brasília: OPAS, 2000, 48 - 77.
- Casimiro, P. (2002). *Uso do solo, teledeteção e estrutura da paisagem, Ensaio Metodológico – Concelho de Mértola*. Lisboa. Dissertação de Doutoramento no ramo de geografia e planeamento regional, especialidade de Novas tecnologias em Geografia, apresentada à Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa.

Correia, R. B. (2007). *Modelação cartográfica em ambiente SIG de suscetibilidade à erosão hídrica dos solos, caso da bacia da Ribeira dos Picos, Santiago (Cabo Verde)*. Dissertação de mestrado apresentado a Universidade de Coimbra.

Correia, R.; Monteiro, S. e Cunha, L. (2009). Riscos naturais, Ordenamento do território e sociedade. Estudos de caso nas ilhas de S. Antão e Santiago. *Actas do 15º Congresso da APDR* (em CDRom), Praia, 1-23.
https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/10866/1/riscos_CV.pdf 25/09/2014
[Acedido em 25/09/2014]

Costa, C. Martins, B. Sampaio, L. (2013). Perceção do perigo de cheias rápidas, da população de Mindelo, São Vicente (Cabo Verde). *Territorium* nº 20, 49-63
http://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/Documentacao/Territorium/T20_artigos/T20_Artigo05.pdf [acedido em 25/09/2014].

Cunha, L. e Ramos, A. (2012). Riscos naturais em Portugal: Alguns problemas, perspetivas e tendências no estudo dos riscos geomorfológicos. *Riscos e Vulnerabilidade*, 20-43.

Cruz, O. (2007). *Monitorização da Flora Autóctone da Ilha de São Vicente*. (Licenciatura Monografia), Instituto Superior de Educação - ISE, Praia.

Cutter, S.; Mitchell, J. (2000). Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of Georgetown County, South Carolina. *Annals of American Geographers*, 90 (4), 713-737.

Cutter, S.; Boruff, B.; Shirley W., (2003).
Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 84, 242-261.

Cutter, S. *et al.*, (2008). A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*, 18(4), .598 - 606.

Dai, F.; Lee, C. & Ngai, Y. (2002). Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*. 42, 213 – 228.

Dikau, R.; Cavallini, A. & Jager, S. (1996). Databases and GIS for Landslide Research in Europe. *Geomorphology*, Vol. 15, 227-239.

Diniz, A. C; G. C. Matos (1994) - Carta de Zonagem Agro-Ecológica e da Vegetação de Cabo Verde. VI - Ilha de São Vicente. Lisboa: Garcia de Orta, Ser. Botânica 12. IICT, 69-100.

Eastman, J. (2006). Guide to GIS and Image Processing. *IDRISI Andes*, Manual version 15.00, Clark University, Worcester, USA, 275-280.

Encarnação, S. (2004). *Análise de Imagem Orientada a Objeto: Abordagem Conceptual e experimentação a partir de imagens QuickBird*. Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Epifânio, B. (2013). *Instabilidade de Arribas e Avaliação do Risco no Litoral de Lorinhã*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa.

Fernandes, M. (2009). *Riscos no Concelho da Ribeira Brava: Movimentos de vertente, cheias rápidas e inundações*. Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade, Coimbra.

Fernández, *et al.*, (2003). Methodology for Landslide Susceptibility Mapping by Means of a GIS. Application to the Contraviesa Area (Granada, Spain). *Natural Hazards*, n.º 30: 297-308.

Figueiredo, R. F. (2001). *Modelação cartográfica em ambiente SIG para apoio à decisão: aplicação ao estudo de afetação potencial de usos do solo no sector Norte do mato Marginal de Coimbra*. Dissertação de mestrado apresentada a Universidade de Coimbra.

Fonseca, A. & Fernandes, J. *Detecção Remota*. LIDL: Edições Técnicas, Lisboa-Porto, 2004, 110 – 120.

Fortes, R. (1993). *Contribuição para o conhecimento do processo reflorestação na República de Cabo Verde*. Relatório Final de Estágio, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.

Garcia, R.; Zêzere, J.L. (2003). Avaliação de Riscos Geomorfológicos: Conceitos, Terminologia e Métodos de Análise. *III Seminário Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território, Livro de Atas*, Vila Real, 299-308.

Garcia, M. L.; Brondo, J; Pérez, M. (2012). *Satélites para a Detecção Remota aplicada à Gestão Territorial*”. Espanha: Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias, 38, 39.

Gaspar, J. (1995). O novo ordenamento do território – geografia e valores. In: *Revista Eletrônica Scripta Vetera*. <http://www.ub.es/geocrit/sv>. [acedido em 22/10/2014].

Giardino, M. (2012). GIS and geomatics for disaster management and emergency relief: a proactive response to natural hazards. *Appl Geomat* (2012) 4:33 – 46 DOI 10.1007/s12518-011-0071-z.

Glade, T. & Crozier, M. (2005). Landslide hazard and risk - Concluding comment and perspectives. Glade, T., Anderson, M. & Crozier, M. (Eds): *Landslide hazard and risk*. Wiley, Chichester, 767-774.

Glatron, S. (1999). Une evaluation géographique des risques technologiques, in *Espace Géographique*, Tome 28 (4), 361-372.

Gomes, E.G. e Lins, M.P.E. (1999). Integração entre Sistema de Informação Geográfica e Métodos de Análise Multicritério no Apoio à Decisão Espacial. *Anais do XXXI SBPO – Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Juiz de Fora – MG, outubro de 1999.

Gonçalves, A. (2007). *Modelação Geográfica de Problemas de Localização*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia do Território apresentada ao Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

Goodchild, M. (2000). *New Horizons for the Social Sciences: Geographic Information Systems*. National Center for Geographic Information and Analysis, Department of Geography, University of California, Santa Barbara, 173 -193.

Goodchild, M. (2003a). Geographic Information Science and Systems for Environmental Management, *Annual Review of Environment and Resources*, Volume 28, 493-519.

Guzzetti, F. (1999). Landslide Hazard Evaluation: a Review of Current Techniques and Their Application in a Multi-Scale Study, Central Italy. *Geomorphology*, n.º 31, 181-216.

Hansen, S.H. (2005). GIS-based Multi-Criteria Analysis of Wind Farm Development. 75-87.

Henriques, C. (2009). *Dinâmica de vertentes no contexto da reserva ecológica nacional: O caso de estudo do concelho de Caldas da Rainha*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Letras, departamento de Geografia. Universidade de Lisboa.

Hufschmidt, Gabi (2011). “A Comparative Analysis of Several Vulnerability Concepts”, *Natural Hazards*, 58(2), 621-643.

Hutchinso, J. N. (1998). General report. Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrology, in BONNARD, C (Ed) landslides. Lausanne vol.1. Balkema. Rotterdam, 3-35.

Jalayer, F. *et al.*, (2014). Probabilistic GIS-based method for delineation of urban flooding risk hotspots. *Nat Hazards* 73:975–1001 DOI 10.1007/s11069-014-1119-2.

Jankowski, P. (1995). Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *International Journal of Geographical Information System*, 9, 251-273.

Jiménez, J. *et al.*, (2009). Building models for automatic landslide-susceptibility analysis, mapping and validation in ArcGIS, *Natural Hazards*, Volume 50, Number 3, 571-590, DOI: 10.1007/s11069-008-9305-8

Julião, R. P. (1997). *Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica*. Instituto de Formação de Quadros.

Julião, R. P. (2001). *Tecnologias de Informação Geográfica e Ciência Regional - Contributos Metodológicos para a Definição de Modelos de Apoio à Decisão em Desenvolvimento Regional*. Dissertação de Doutoramento no ramo de Geografia e Planeamento Regional, Especialidade de Novas Tecnologias em Geografia, Faculdade de Ciências Sociais Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Julião, R.P., *et al.*, (2009). *Guia Metodológico para a produção de Cartografia Municipal de Risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal*. Autoridade Nacional de Proteção Civil.

Leão, C. *et al.*, (2007). Avaliação de métodos de classificação em imagens TM/Landsat e CCD/CBERS para o mapeamento do uso e cobertura da terra na região costeira do extremo sul da Bahia. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis. Brasil... São José dos Campos, INPE, p. 939-946. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2006/11.15.01.10/doc/939-946.pdf> [acedido em 28 agosto 2015].

Lima, I. (2012). *Inundações urbanas: Desafios ao ordenamento do território*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa.

Lima, J. (1999) – *Domila'99 - homenagem a João Francisco Lima*. Roseriense / Ministério da Cultura de Cabo Verde, S.A.

- Lima, M. (2003). *Plano intersectorial: Ambiente e gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos*. MAAP, Gabinete de Estudos e Planeamento, Praia.
- Lins, M.. & Ferreira, V. (1997). Sistemas de Informação Geográfica e Modelagem em PO. *Revista Pesquisa Operacional*, 17 (2), 178-187.
- Llasat, M.C., Llasar-Botija, M. e López, L. (2009). A press database on natural risks and its application in the study of floods in Northeastern Spain. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2049–2061.
- Lobo M. C. *et al.*, (1990). *Normas Urbanísticas, Vol. I - Princípios e Conceitos Fundamentais*, Direção Geral do Ordenamento do Território e Universidade Técnica de Lisboa, 213.
- Malczewski, J. (2000). On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and best practice Approaches.
- Manyema, S. B., (2006). *The concept of resilience revisited*. *Disasters*, 30, 434-450.
- Matos, J. (2008). *Fundamentos de Informação Geográfica*, 5ª edição atualizada e aumentada, Lidel, Lisboa.
- Metternicht, G.; Lorenz H.; Radu G. (2005). Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard assessment in mountainous environments. *Remote Sensing of Environment. Science Direct*. 98, 284 – 303.
- Meneses, B. (2011). *Suscetibilidade e risco de movimentos de vertentes no concelho de Tarouca*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa.
- Meneses, P. (2012). *Introdução ao processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Brasília, 191-216

Monteiro, S. (2007). *Riscos Naturais e Vulnerabilidade no Concelho de Ribeira Grande de Santo Antão de Cabo Verde*. Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de Letras, departamento de Geografia. Universidade de Coimbra.

Monteiro, S. *et al*, (2011). Crescimento urbano espontâneo e riscos naturais na cidade da Praia (Cabo Verde). *Cadernos de Geografia* nº 30/31 – 2011/2012. Coimbra, FLUC, 117-130.

Monteiro, S. e Cunha, L. (2011). Cheias rápidas em Cabo Verde. Um breve apontamento acerca das tempestades de Setembro de 2009 na Ilha de S. Nicolau. *Iberografias, Interioridade/Insularidade Despovoamento / Desertificação Paisagem, Riscos Naturais e Educação Ambiental em Portugal e Cabo Verde*. Centro de Estudos Ibéricos, 177-189.

Morais, M. (2003). Subsídios para o planeamento da cidade do Mindelo, São Vicente - Cabo Verde. *Revista da Faculdade de Letras da - Geografia* I, série, vol. XIX, Porto, 2003, 310 - 329.

Navarro, M. Cardoso, T. (2005). Perceção de risco e cognição: reflexão sobre a sociedade de risco. *Ciências & Cognição*, 6: 67-72.

Oliveira, F. (2002). "Evolução do Quadro Legal dos PROT's", in *Sociedade e Território, Revista de Estudos Urbanos e Regionais*, n.º 34, Setembro de 2002, 10-17.

Oliveira, B. e Mataveli, G. (2013). Avaliação do desempenho dos classificadores Isoseg e Bhattacharyapara o mapeamento de áreas de cana-de-açúcar no município de Barretos-SP. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE, 89-96.
<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0863.pdf> [acedido em 25 Janeiro de 2015]

Partidário, M. (1999). *Introdução ao ordenamento do Território*. Lisboa: Universidade Aberta, 35-36.

Plapp & Werner (2006). Understanding risk perception from natural hazards: examples from Germany. *RISK* 2006, 21:101-108.

Policarpo, N. (2012). *Suscetibilidade a movimentos de vertentes no concelho de Funchal*. Relatório de estágio de Mestrado apresentada ao Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa.

Porteiro, J. *et al.*, (2004). Sistema de Informação Geográfica da Orla Costeira da ilha da Graciosa. *Expedição Científica Graciosa 2004*. Departamento de Biologia, Universidade dos Açores, 16-20.

Proske, D. (2008). *Catalogue of Risks: Natural, Technical, Social and Health Risks*. University of Natural Resources and Applied Life Sciences. Vienna.

Quaresma, I. (2008). *Inventariação e análise de eventos Hidro-Geomorfológicos com carácter danoso em Portugal continental*. Dissertação de Mestrado apresentada ao instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa.

Queiróz, M. (2009a). *Riscos e ordenamento do território: Prometeus ou conhecimento e partilha*. In *Planeamento Civil de Emergência*, (21), 22-26.

Queiróz, R. *et al.*, (2004). Redes Neurais: Um comparativo com Máxima Verossimilhança Gaussiana na Classificação de Imagens CBERS 1. *II Workshop de Tecnologia da Informação aplicada ao Meio Ambiente – CBComp 2004 Inteligência Artificial*, 736 746-749
http://www.ufrgs.br/niee/eventos/CBCOMP/2004/pdf/Workshop_Ambiente/Inteligencia_Artificial/t170100151_3.pdf [Acedido em 11 de Março de 2015].

Ramos, A. *et al.*, (2011). Cartografia de suscetibilidade a deslizamentos e unidades territoriais de risco à escala regional: o caso da região Figueira da Foz – Nazaré. *Cadernos de Geografia* nº 30/31 - 2011/12 Coimbra, FLUC, 269-281

Ramos, C; Reis, E. (2001). As cheias no Sul de Portugal em diferentes tipos de bacias hidrográficas. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*, XXXVI, 71, 61-82.

Ramos, C. (2005). *Programa de Hidrogeografia*, DLIF-3, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, Lisboa

Ramos, C. (2008). *Risco de Cheias e Ordenamento do Território*. Curso Nova Diretiva Europeia Avaliação e Gestão de Riscos de Inundações Fluviais e Costeiras, FUNDEC. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Ramos, C. (2009). *Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território* (Programa de Unidade Curricular do 2º ciclo). SLIF- 6, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Ramos, C. (2013). *Perigos naturais devidos a causas meteorológicas: o caso das cheias e inundações*. Centro de Estudos Geográficos, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, 1-6.

Rebelo, F. (1977). A Ação Humana como Causa de Desabamentos e Deslizamentos - Análise de um Caso Concreto. Os processos erosivos atuais no litoral norte e centro de Portugal; *Estudos N.º 2; Coimbra*: 2-20.

Rebelo, F. (2001). Riscos naturais e ação antrópica. *Coimbra, Imprensa da Universidade*.

Rebelo, F. (2003). Riscos Naturais e Ação Antrópica: Estudos e Reflexões. *Imprensa da Universidade de Coimbra - 2ª Edição*, Coimbra, 11-25.

Reis, Eusébio (1996). *Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica na análise morfológica de bacias hidrográficas*. Dissertação de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos, IST-UTL, Lisboa, Portugal, 222.

Reis, E. *et al*, (2003). Integração de Dados Espaciais em SIG para Avaliação da Suscetibilidade à Ocorrência de Deslizamentos. *Finisterra*, Vol. XXXVIII, n.º 76: 3-34.

Reis, E. (2011). Análise de Bacias Hidrográficas, Suscetibilidade à ocorrência de Cheias e Sistemas de Informação Geográfica: da definição do quadro conceptual até à proposta de um Modelo de Avaliação, *Atas do VIII Congresso de Geografia Portuguesa*, Lisboa, CD-ROM.

Ribeiro, M. (1995). “Sociologia dos desastres”. *Sociologia, problemas e práticas*, nº 18, CIES/ISCTE, 23-43.

Rocha, A., Costa, A., & Sanches, R. (2011). *Clima e Cenários Climáticos em Cabo Verde e São Tomé e Príncipe*.

Rocha, J.; Tenedório, J. (1998). Classificação de imagens de satélite com recurso a informação multi-fonte e multi-resolução. http://www.apgeo.pt/files/docs/CD_IV_Congresso_APG/Actas_CD/Comunica/cart_tecn/satelt.pdf, 1-20. [Acedido em 11 de Fevereiro de 2016].

Rocha, J.; Morgado, P. (2007). *Integração de dados estatísticos na classificação de imagens de satélite*. Estudos para o Planeamento Regional e Urbano nº 70. Centro de Estudos Geográficos. Universidade de Lisboa. 2007, 36 - 87;

Rocha, R. (2010). *Caracterização Biofísica da Ilha de Santo Antão em Cabo Verde Através de Sistemas de Informação Geográfica e Deteção Remota*. Cadernos Curso de Doutoramento Geografia da Faculdade de Letras da Universidade do Porto. <http://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/8284.pdf> [Acedido em 24/09/2014]

Rosa, G. *et al* (2008). Utilização do Método AHP para determinação de um modelo matemático para o mapeamento das áreas de riscos de inundação da bacia hidrográfica do rio Alegre, ES. *XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação* – Universidade do Vale do Paraíba, Brasil, 1-4. http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2008/anais/arquivosINIC/INIC1113_03_O.pdf. [Acedido em 24/07/2015]

Russell G. (2010). Remote Sensing: An Overview, *GIS science & Remote Sensing*. 2010, 47:4, 443-459.

Saaty, T.S. (1980). The Analytic Hierarchy Process.

Saaty, T.S. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*.

Santacana, N. *et al.*, (2003). A GIS-Based Multivariate Statistical Analysis for Shallow Landslide Susceptibility Mapping in La Pobla de Lillet Area (Eastern Pyrenees, Spain). *Natural Hazards*, Ed. 30: 281–295.

Santos, A. Peluzio, T.; Nathália, S. (2010). *Spring 5.2.6 Passo a Passo. Aplicações práticas*, Mundo da Geomática. <http://www.mundogeomtica.com.br>. Alegre ES, pp. 1-32; [acedido em 05 de Maio de 2014].

Silva, M.; Pereira, G. (2007). Avaliação de algoritmos de classificação supervisionada para imagens do Cbers-2 da Região do Parque Estadual do Rio Doce MG. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 13, Florianópolis. Anais... São José dos Campos, INPE, pp. 6223-6228. Disponível em <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.20.25/doc/6223-6228.pdf> [Acedido em 02 jun. 2014].

Tangestani, M. (2009). A comparative study of Dempster–Shafer and fuzzy models for landslide susceptibility mapping using a GIS: An experience from Zagros Mountains, SW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 35, Ed.1: 66-73.

Terpstra, T. (2009). Flood preparedness: thoughts, feelings and intentions of the Dutch public. Thesis, University of twente.

UNISDR (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres, Naciones Unidas.

UNISDR (2012). *Como Construir Cidades Mais Resilientes* - Um Guia para Gestores Públicos Locais, United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva.

WP/WLI (1993) - *Multilingual Landslide Glossary*. International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party for World Landslide Inventory; The Canadian Geotechnical Society, Canada. <https://www.cgs.ca/pdf/heritage/Landslide%20Glossary.pdf> [Acedido em 02 Maio. 2014]

Wilson, E.W.; Moore, J.E. (1998). *Glossary of Hydrology*, American Geological Institute, Alexandria, Virginia

Wisner, B. (2004). *At Risk – Natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Londres: Routledge

Varnes, D. (1978). Slope Movement Types and Processes. In: Schuster, R. & Krizek, R. (eds.), *Landslides-Analysis and Control: Transportation Research Board, Special Report N.º 176*. Chapter 2, Washington DC: 11-28.

Varnes, D. (1984). *Landslide Hazard Zonation: a Review of Principles and Practice*. UNESCO, Paris.

Victória, S. (2006). *Condicionantes Geológicas ao Ordenamento do Território: uma aplicação na região da Praia (Santiago – Cabo Verde)*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra; Coimbra.

Voogd, J.H. (1982). *Multicriteria evaluation for urban and regional planning* London: Pion:Ldt.

Zambon, Kátia Livia et al. (2005). *Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoelétricas utilizando SIG*. Pesquisa Operacional, Rio de Janeiro, v.25, n.2, 183-199.

Zanela, M. Olímpio, J. Gorayebe, A. (2012). Análise multitemporal dos desastres naturais hidroclimáticos do estado do Ceará: Contribuições das Geotecnologias à gestão dos riscos naturais. *REVISTA GEONORTE*, Edição Especial 2, V.1, N.5, 907 – 920,

Zêzere, J. L. (1997). *Movimentos de vertente e perigosidade geomorfológica na região norte de Lisboa*. Universidade de Lisboa, Lisboa. Dissertação de Doutoramento apresentado a universidade de Lisboa, lisboa

Zêzere, J.L., Pereira, A.R. e Morgado, P. (1999). *Perigos Naturais e Tecnológicos no território de Portugal Continental*. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, 1-17.

Zêzere J. L (2005). *Dinâmica de vertentes e Riscos geomorfológicos*. Relatório nº 41, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 29-97.

Zêzere, J. L.(2007a) – Riscos e Ordenamento do Território. *Inforgeo*, 20/21, Ordenamento Territorial, *Associação Portuguesa de Geógrafos*, 59-63.

Zhongyi, S. et al., (2014). Integrated risk zoning of drought and waterlogging disasters based on fuzzy comprehensive evaluation in Anhui Province, China. *Nat Hazards* (2014) 71:1639-1657 DOI 10.1007/s11069-013-0971-9.

LEGISLAÇÃO

Decreto-Legislativo nº 6/2010, de 13 de Fevereiro, que estabelece as Bases do Ordenamento do Território e Planeamento Urbanístico (2010).

Decreto-Lei nº 43/2010, de 27 de Setembro - Regulamento Nacional de Ordenamento do Território e Planeamento Urbanístico (RNOTPU) – que estabelece o Regime Jurídico dos IGT (nº 37 – Série I – 27 de Setembro de 2010).

Decreto-Legislativo nº 6/2010, de 21 de Junho – Altera o Decreto-Legislativo nº 1/2006, de 13 de Fevereiro, que estabelece as Bases do Ordenamento do Território e Planeamento Urbanístico (nº 23 – Série I – 21 de Junho de 2010).

Lei nº 85/IV/93, de 16 de Julho – Define as bases do ordenamento do Território nacional e o Planeamento urbanístico - Boletim Oficial (Nº 25- I Série- 16 e Julho de 2003).

Lei nº 100/V/99, de 19 de Abril, que estabelece as bases Gerais da Proteção Civil.

SITES CONSULTADOS

http://ec.europa.eu/environment/iczmpdf/vol1_pt.pdf [Acedido em 22 de Março de 2014]

http://ec.europa.eu/environment/iczmpdf/2000brochure_pt.pdf [Acedido em 22 de Março de 2014]

<http://ftp.infoeuropa.euroid.pt/files/database/000038001-000039000/000038429.pdf>
[Acedido em 22 de Março de 2014]

http://www.oern.pt/documentos/Joaquim_Barbosa_Erosao_Costeira.pdf [Acedido em 23 de Março de 2014]

http://www.dgotdu.pt/pnpot/Storage/pdfs/PNPOT_PROGRAMA_DE_ACCAO.pdf
[Acedido em 24 de Março de 2014]

<http://landsat.usgs.gov/index.php> [Acedido em 05 de Maio de 2014]

<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0996.pdf> [acedido em 30 de Maio de 2014]

<https://www.youtube.com/watch?v=snFDfuhrKnE> [Acedido em 25 de Janeiro de 2015]

<http://asemana.sapo.cv/spip.php?article112736> [Acedido em 2014 e 2015]

www.ine.cv [Acedido em 2014 e 2015]

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Destruição de casas em setembro de 1961 em Santo Antão-----	13
Figura 2. A queda de uma ponte sobre a Ribeira d'água em Boavista-----	14
Figura 3. Enquadramento Geográfico no arquipélago de Cabo Verde-----	20
Figura 4. Localização da ilha de São Vicente-----	21
Figura 5. Localização das estações meteorológicas-----	22
Figura 6. Coeficiente de Correlação Múltipla entre estações meteorológicas do Mindelo e Mato Inglês-----	23
Figura 7. Repartição espacial da precipitação anual nas estações meteorológicas, com base nas Normais Climatológicas 1961-91-----	24
Figura 8. Variação da precipitação anual e respetiva tendência evolutiva na cidade de Mindelo (1961-2009) -----	25
Figura 9. Coeficiente de Correlação Múltipla entre os meses de Janeiro e Dezembro para a estação meteorológica de Mindelo (1961-1991) -----	26
Figura 10. A variação anual das temperaturas na estação de Mindelo, com base nas Normais Climatológicas 1961 -1991 -----	27
Figura 11. Regime termopluviométrico na estação de Mindelo com base nas Normais Climatológicas 1961-1991 -----	28
Figura 12. Maciço Residual -----	30
Figura 13. Cone Vulcânico do Pico do Vento-----	30
Figura 14. Barranco com fundo amplo -----	31
Figura 15. Altimetria da Ilha de São Vicente -----	32
Figura 16. Declives da Ilha de São Vicente -----	33
Figura 17. Exposições de Vertentes -----	35
Figura 18. Perfil Transversal das Vertentes -----	36

Figura 19. Litologia da Ilha de São Vicente -----	38
Figura 20. Rede hidrográfica da Ilha de São Vicente -----	41
Figura 21. Bacias Hidrográficas da Ilha de São Vicente -----	42
Figura 22. Hierarquia da rede de Drenagem pelo método de Strahler -----	43
Figura 23. Ocupação do Solo da Ilha de São Vicente -----	45
Figura 24. Evolução da população residente em São Vicente (1940-2010) -----	46
Figura 25. População Residente em 2010 -----	47
Figura 26. Densidade populacional (Hab./km ²) -----	48
Figura 27. Distribuição dos inquiridos por Género -----	49
Figura 28. Distribuição por escalão etário -----	50
Figura 29. Distribuição por nível de instrução -----	51
Figura 30. Sectores de Actividade -----	51
Figura 31. Habitações na sua grande maioria clandestinas em encostas declivosas ----	54
Figura 32. Rotunda da rua de Côco numa situação de crise em 2009 -----	54
Figura 33. Habitações em pleno canal de escoamento em Chã de Alecrim -----	55
Figura 34. Depósitos de Sedimentos a entrada da principal via de Chã de Alecrim 20 de Setembro de 2009 -----	56
Figura 35. Carta meteorológica para o dia 16 de Setembro de 2009, às 00UTC -----	58
Figura 36. Manifestações de inundação em 18 de Setembro de 2009 no centro da Cidade e na Avenida 12 de Setembro -----	59
Figura 37. Danos nas estradas resultantes das cheias de 2009 -----	60
Figura 38. Desabamentos na Localidade Ribeira Brava, ilha de São Nicolau em Agosto de 2009 -----	61

Figura 39. Deslizamentos de Terra no interior da ilha de Santiago em Novembro de 2015-----	62
Figura 40. Habitações afectadas por fluxos de detritos quando das fortes precipitações de 2009 -----	62
Figura 41. Construção em áreas de elevada suscetibilidade a movimentos de massas na localidade de Fonte Francês -----	63
Figura 42. Canais de escoamento superficial na localidade de Chã de Alecrim -----	65
Figura 43. Plantação de Aloé Vera nas encostas -----	66
Figura 44. Unidades Litológicas das bacias -----	80
Figura 45. Permeabilidade das Unidades litológicas da ilha de São Vicente -----	81
Figura 46. Ocupação do solo das bacias hidrográficas -----	82
Figura 47. Suscetibilidade a Ocorrência de cheias/inundações -----	84
Figura 48. Bairros afetados pelas cheias/inundações segundo as notícias de jornais --	85
Figura 49. Bairros afetados pelas cheias/inundações segundo os entrevistados -----	86
Figura 50. Carta de Elementos Estratégicos -----	88
Figura 51. População residente por bairros -----	90
Figura 52. Risco de cheias/inundações por bairros da cidade de Mindelo -----	91
Figura 53. Determinação de Edificado em áreas de Risco -----	92
Figura 54. Percentagem da área de estudo por classe de Declive -----	98
Figura 55. Fluxograma de Procedimentos -----	100
Figura 56. Representação espacial das variáveis utilizadas na avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massas -----	103
Figura 57. Carta de Suscetibilidade a movimentos de massa -----	105
Figura 58. Classes de Suscetibilidade a movimentos de massa -----	106

Figura 59. Localização do risco de movimentos de massa -----	107
Figura 60. Princípios fundamentais de Detecção Remota -----	110
Figura 61. Imagem Landsat8 em composição colorida -----	113
Figura 62. Fluxograma contendo os processos envolvidos na metodologia aplicada -	115
Figura 63. Segmentação com Similaridade 10 e área píxel 15 -----	118
Figura 64. Mapeamento do Classificador Isoseg -----	119
Figura 65. Mapeamento de Bhattacharya -----	120
Figura 66. Mapeamento do Classificador Máxima Verosimilhança -----	120
Figura 67. Resultado da aplicação do classificador Máxima verosimilhança -----	121
Figura 68. Resultado da aplicação do classificador Isoseg -----	121
Figura 69. Resultado da aplicação do classificador Bhattacharya -----	122
Figura 70. Classificador de Máxima Verosimilhança -----	126
Figura 71. Classificador Bhattacharya -----	127

LISTA DOS QUADROS

Quadro 1. Estrutura e Caraterísticas dos dados utilizados-----	6
Quadro 2. Caraterísticas da precipitação por Décadas -----	25
Quadro 3. Classes de altitude da ilha de São Vicente -----	32
Quadro 4. Classes de Declive na ilha de São Vicente -----	34
Quadro 5. Classes de exposição das vertentes na ilha de São Vicente -----	35
Quadro 6. Classes de perfil transversal das vertentes da ilha de São vicente -----	37
Quadro 7. Classes de Litologia da ilha de são Vicente -----	39
Quadro 8. Ocupação do solo da ilha de São Vicente -----	45
Quadro 9. Índice de pluviosidade para a ilha de São Vicente nos dias 15, 16, 18 e 20 de Setembro de 2009 -----	57
Quadro 10. Caraterísticas geométricas das bacias hidrográficas -----	70
Quadro 11. Rede de drenagem das bacias hidrográficas da ilha de São Vicente -----	72
Quadro 12. Caraterísticas topográficas das bacias hidrográficas da ilha de São Vicente - -----	75
Quadro 13. Tempo de concentração e Tempo de resposta nas bacias hidrográficas da ilha de São Vicente -----	78
Quadro 14. Índice de permeabilidade atribuídos por cada classe de litologia -----	79
Quadro 15. Índice de permeabilidade por cada classe de ocupação do solo -----	82
Quadro 16. Escala de Comparação de Critérios -----	95
Quadro 17. Modelo de prioridade dos critérios -----	96
Quadro 18. Valores de IR para Matrizes Quadradas de ordem n -----	97
Quadro 19. Comparação par a par para definir os pesos de cada critério segundo o método AHP -----	104
Quadro 20. Pesos finais dos critérios em análise -----	104
Quadro 21. Testes de segmentação -----	117

Quadro 22. O Classificador Bhattacharya -----	122
Quadro 23. O Classificador da Máxima Verosimilhança -----	123
Quadro 24. Bhattacharya -----	124
Quadro 25. Máxima Verosimilhança -----	124
Quadro 26. Bhattacharya -----	125
Quadro 27. Máxima Verosimilhança -----	125
Quadro 28. Caraterísticas do Satélite <i>Landsat 8</i> -----	155
Quadro 29. Elementos dos metadados do Satélite <i>Landsat8</i> -----	156

ANEXOS

Anexo 1

Guião das entrevistas

O presente questionário insere-se numa investigação no âmbito do mestrado em Gestão do Território e tem por objetivo assimilar a opinião de técnicos e especialistas, nomeadamente no que diz respeito ao tema dos riscos de cheias/inundações e movimentos de massas na ilha de São Vicente em Cabo Verde.

1- Qual a sensibilidade da ilha de São Vicente para ocorrer cheias/inundações e movimentos de massas?

2- Em caso de ocorrência dos fenómenos apontados na alínea anterior será que as entidades competentes estão preparadas para dar resposta aos impactos causados (meios de socorro, como ambulâncias, helicópteros, unidades de saúde, homens no terreno...)

3- Quais têm sido os bairros mais afetados por estes fenómenos naturais mencionados?

3.1 Quais as razões subjacentes?

4- Na sua opinião esta temática (riscos cheias/inundações e movimentos de massas) é tida em conta na elaboração dos Instrumentos Gestão do Território (PDM, EROT)?

5- Na sua opinião o que está legislado articula-se com o que está a ser feito no terreno?

6- Em caso de ocorrência de cheias/inundações e movimentos de massas quais são as entidades locais que são chamadas a atuar?

6.1 Qual a avaliação que faz do desempenho destas instituições?

7- Quais são as medidas e estratégias que têm sido usadas na minimização dos riscos cheias/inundações e movimentos de massas?

8- Como avalia a perceção da população em relação aos riscos naturais a que está sujeita?

9- Que avaliação faz da informação/sensibilização à população relativamente aos riscos de cheias/inundações e movimentos de massas?

9.1- Qual o papel dos meios de comunicação na cobertura desta temática?

10- Perante um cenário de risco de cheia/inundação e movimentos de massa na ilha de São Vicente quais são as entidades nacionais e internacionais que apoiam estas situações?

10.1- Normalmente, quais os tipos de apoios que são dados às populações que vivenciam estas situações?

Obrigado pela colaboração

Anexo 2

Quadro 28. Características do satélite Landsat 8

Landsat-8 Bands	Resolução espectral (μm)	Resolução espacial (m)
Band 1 – Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
Band 2 – Blue	0.45 - 0.51	30
Band 3 – Green	0.53 - 0.59	30
Band 4 – Red	0.64 - 0.67	30
Band 5 – Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.87	30
Band 6 – SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Band 7 – SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Band 8 – Panchromatic	0.50 – 0.68	15
Band 9 – Cirrus	1.36 - 1.38	30
Band 10 – Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	30
Band 11 – Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	30

Fonte: *Earthexplorer, United State Geological Survey (USGS)*

Anexo 3

Quadro 29. Elementos dos metadados do satélite Landsat 8

Altitude média	705 km
Finalidade	Observação da Terra
Imagem	
Produtor	"Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
Formato	Geotiff
Sensor ID	"OLI_TIRS"
WRS_PATH	211
WRS_ROW	48
Data da imagem	2014-11-15
Coordenadas do retângulo envolvente	X1 - 569400.000 X2 - 796200.000 Y1 - 1802100.000 Y2 - 2034000.000
Instituição / organização	
Objetivo do estudo	Extração de informação geográfica a partir do processamento digital de imagem de satélite Landast8 utilizando classificadores semiautomáticos
Data do estudo	Março 2015
Informação de referência geográfica	
País	Cabo Verde
Localização	Ilha de São Vicente
Sistema de referência	WGS 84
Sistema de projeção	UTM_Zone_26N
Sun azimuth	149.71755569
Sun elevation	48.97849139